



**TUGAS AKHIR - TL 141584**

# **PENGARUH EKSTRAK DAUN TEH TERHADAP KETAHANAN KOROSI BAJA KARBON DI LINGKUNGAN ASAM KUAT DAN ASAM LEMAH**

**MAHENDRA KRESNA PUTRA**  
**NRP 2713 100 005**

**Dosen Pembimbing :**  
**Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.**  
**Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL**  
**Fakultas Teknologi Industri**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2017**

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*



FINAL PROJECT - TL 141584

***EFFECT OF TEA LEAF EXTRACT ON CARBON  
STEEL CORROSION RESISTANCE IN STRONG  
AND WEAK ACID ENVIRONMENT***

MAHENDRA KRESNA PUTRA  
NRP 2713 100 005

Advisor :  
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.  
Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.

MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

**PENGARUH EKSTRAK DAUN TEH TERHADAP KETAHANAN  
KOROSI BAJA KARBON DI LINGKUNGAN ASAM KUAT DAN  
ASAM LEMAH**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Korosi dan Kegagalan Material  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

**MAHENDRA KRESNA PUTRA**  
NRP 2713 100 005

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc., ..... ( Pembimbing I )  
Tubagus Noor R, S.T., M.Sc., ..... ( Pembimbing II )



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

# **PENGARUH EKSTRAK DAUN TEH TERHADAP KETAHANAN KOROSI BAJA KARBON DI LINGKUNGAN ASAM KUAT DAN ASAM LEMAH**

**Nama mahasiswa : Mahendra Kresna Putra**  
**NRP : 2713100005**  
**Departemen : Teknik Material**  
**Dosen Pembimbing : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc**  
**Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc**

## **ABSTRAK**

Dalam lingkungan bisnis modern, perusahaan yang sukses tidak dapat mentolerir kegagalan korosi yang besar, terutama yang menyebabkan kecelakaan, dan kematian personel, penghentian tidak terjadwal dan kontaminasi lingkungan. Perpipaan adalah salah satu jenis korosi yang banyak menjadi subjek korosi. Termasuk jaringan pipa minyak dan gas yang kebanyakan korosi terjadi dari dalam pipa. Korosi tidak dapat dicegah tetapi lajunya dapat dikurangi. Kandungan zat antioksidan seperti polifenol, tanin, alkaloid, saponin, minyak atsiri dan asam amino mempunyai banyak unsur N, O, P, S yang dapat membentuk senyawa kompleks sulit larut dengan ion logam yang mampu menghambat korosi pada logam. Pada penelitian ini digunakan ekstrak daun teh (*camelia sinensis*) karena tanaman teh selain harganya relatif murah, mudah didapat, daun teh juga mempunyai kandungan tanin yang besar yaitu sekitar 7 % - 15% dan tidak beracun. Larutan elektrolit yang digunakan pada penelitian ini adalah  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 3. Hasil pengujian FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi tanin pada permukaan baja yang telah diberikan inhibitor. Hasil pengujian *weight loss* memperlihatkan bahwa nilai laju korosi terendah didapat pada konsentrasi 300 ppm dalam lingkungan asam kuat sebesar 0,05 mm/y dengan efisiensi inhibisi sebesar 87,82%. Sedangkan dalam lingkungan asam lemah laju korosi terendah didapatkan saat konsentrasi 900 ppm sebesar 1,1 mm/y

dengan efisiensi inhibisi sebesar 60,72%. Pada pengujian XRD pada lingkungan asam kuat ditemukan adanya senyawa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sebagai produk korosi, sedangkan pada lingkungan asam lemah ditemukan  $\text{Fe}^{3+}(\text{OH})$  sebagai produk korosi. inhibitor daun teh bekerja secara adsorpsi pada permukaan baja API 5L dengan membentuk senyawa kompleks sehingga menghasilkan lapisan tipis yang dapat menghambat laju korosi.

**Kata kunci : Asam, Inhibitor Daun Teh, Korosi,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , Antioksidan, Tanin**



# **EFFECT OF TEA LEAF EXTRACT ON CARBON STEEL CORROSION RESISTANCE IN STRONG AND WEAK ACID ENVIRONMENT**

**Student Name : Mahendra Kresna Putra**  
**NRP : 2713100005**  
**Department : Material Engineering**  
**Advisor : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc**  
**Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc**

## ***Abstract***

*In modern business environments, successful companies can not tolerate major corrosion failures, especially those that cause accidents, and deaths of personnel, unscheduled termination and environmental contamination. Piping is one type of corrosion that many become the subject of corrosion. Including oil and gas pipelines that mostly corrosion occurs from inside the pipe. Corrosion can not be prevented but it can be reduced. The content of antioxidants such as polyphenols, tannins, alkaloids, saponins, essential oils and amino acids has many elements of N, O, P, S that can form complex soluble compounds with metal ions capable of inhibiting corrosion in metals. In this study used tea leaf extract (camelia sinensis) because tea plants in addition to the relatively cheap price, easy to obtain, tea leaves also have a large tannin content of about 7% - 15% and not toxic. The electrolyte solution used in this study was  $H_2SO_4$  and  $CH_3COOH$  pH 3. FTIR test results showed the presence of tannin functional groups on steel surfaces that had been given inhibitors. The result of weight loss test showed that the lowest corrosion rate was obtained at a concentration of 300 ppm in a strong acid environment of 0.05 mm / y with an inhibition efficiency of 87.82%. While in the weak acid environment the lowest corrosion rate was obtained when the concentration of 900 ppm was 1.1 mm / y with the inhibition*

*efficiency of 60.72%. In the XRD test on the strong acid environment found the  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  compound as a corrosion product, whereas in the weak acid environment found  $\text{Fe}^{3+}(\text{OH})$  as a corrosion product. The tea leaf inhibitor works adsorptively on the 5L API surfaces by forming complex compounds to produce a thin film which can inhibit corrosion rate.*

**Keywords : Acid, Tea Leaf Extract Inhibitor, Corrosion,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , Antioxidant, Tannin**

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir pada Departemen Teknik Material FTI-ITS yang berjudul **“Pengaruh Ekstrak Daun Teh Terhadap Ketahanan Korosi Baja Karbon di Lingkungan Asam Kuat dan Asam Lemah”** Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Orang tua Penulis, Bapak Agus Nurwanto dan Ibu Trim Kristiana yang telah mendukung penulis melalui doa, motivasi dan semangat.
3. Bapak Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir dan telah memberikan ilmu, bimbingan serta wawasan kepada penulis.
4. Bapak Tubagus Noor Rohmannudin, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing 2 tugas akhir penulis yang telah memberikan arahan saat menulis Tugas akhir ini.
5. Bapak Wikan Jatimurti, ST. M.Sc. selaku Dosen Wali penulis pada Departemen Teknik Material FTI-ITS.
6. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS

7. Teman-teman Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan yang telah menemani penulis selama melaksanakan kegiatan penelitian
8. Dosen dan karyawan yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan perkuliahan di Departemen Teknik Material FTI-ITS.
9. Teman-teman MT 15 yang selalu membantu penulis dengan baik.
10. Serta seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi atas penulisan tugas akhir ini.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juli 2017  
Penulis,

Mahendra Kresna Putra  
2713100005

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....                       | i    |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....                   | v    |
| <b>ABSTRAK</b> .....                             | vii  |
| <b>ABSTRACT</b> .....                            | ix   |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                      | xi   |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                          | xiii |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                       | xvii |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                        | xxi  |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b>                         |      |
| 1.1 Latar Belakang.....                          | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                         | 2    |
| 1.3 Batasan Masalah.....                         | 3    |
| 1.4 Tujuan Penelitian.....                       | 3    |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....                      | 3    |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>                   |      |
| 2.1 Definisi dan Prinsip Dasar Korosi.....       | 5    |
| 2.2 Faktor Penyebab Korosi.....                  | 7    |
| 2.2.1 Pengaruh pH Terhadap Korosi.....           | 10   |
| 2.3 Perhitungan Laju Korosi.....                 | 13   |
| 2.3.1 Metode kehilangan berat (weight loss)..... | 13   |
| 2.3.2 Metode Polarisasi Tafel.....               | 15   |
| 2.4 Pengujian EIS.....                           | 16   |
| 2.5 Pengendalian Korosi.....                     | 18   |
| 2.6 Inhibitor Korosi.....                        | 19   |
| 2.7 Isoterm Adsorpsi Langmuir.....               | 20   |
| 2.8 Daun Teh ( <i>Camelia Sinensis</i> ).....    | 21   |

|  |    |
|--|----|
| 2.8.1 Pengolahan Teh Hijau.....        | 23 |
| 2.9 Tanin.....                         | 25 |
| 2.9.1 Interaksi Tanin dengan Besi..... | 26 |
| 2.9.2 Katekin.....                     | 27 |
| 2.10 Penelitian Sebelumnya.....        | 28 |

### **BAB III METODE PENELITIAN**

|   |    |
|---|----|
| 3.1 Diagram Alir.....                         | 33 |
| 3.2 Metode Penelitian.....                    | 33 |
| 3.3 Alat Penelitian.....                      | 34 |
| 3.4 Bahan .....                               | 35 |
| 3.5 Prosedur Penelitian.....                  | 36 |
| 3.5.1 Preparasi Sampel.....                   | 36 |
| 3.5.2 Persiapan Larutan Rendam.....           | 37 |
| 3.5.3 Persiapan Larutan Inhibitor.....        | 37 |
| 3.5.4 Langkah Kerja Uji Rendam.....           | 36 |
| 3.6 Pengujian .....                           | 38 |
| 3.6.1 Pengujian Spektrophotometri UV-Vis..... | 38 |
| 3.6.2 Pengujian FTIR.....                     | 39 |
| 3.6.3 Pengujian Weight Loss.....              | 40 |
| 3.6.4 Pengujian Polarisasi Tafel.....         | 41 |
| 3.6.5 Pengujian EIS.....                      | 42 |
| 3.6.6 Pengujian XRD.....                      | 43 |

### **BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

|  |    |
|--|----|
| 4.1 Hasil Pengujian.....               | 45 |
| 4.1.1 Hasil Uji Tanin.....             | 45 |
| 4.1.2 Hasil Uji FTIR.....              | 46 |
| 4.1.3 Hasil Pengujian Weight Loss..... | 56 |

|  |    |
|--|----|
| 4.1.4 Hasil Pengujian Tafel.....                 | 61 |
| 4.1.5 Hasil Pengujian EIS.....                   | 64 |
| 4.1.6 Hasil Pengujian XRD.....                   | 68 |
| 4.1.7 Hasil Perhitungan Adsorpsi Isothermal..... | 74 |
| 4.2 Pembahasan.....                              | 76 |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>                |    |
| 5.1 Kesimpulan.....                              | 81 |
| 5.2 Saran.....                                   | 81 |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>                            |    |
| <b>LAMPIRAN</b>                                  |    |
| <b>BIOGRAFI PENULIS</b>                          |    |

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*



## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| <b>Gambar 2.1</b> Reaksi elektrokimia terkait dengan korosi pada zinc dalam larutan asam.....   | 7  |
| <b>Gambar 2.2</b> Alur kurva tafel.....   | 16 |
| <b>Gambar 2.3</b> Aliran Nyquist untuk reaksi antarmuka (a) dikendalikan oleh hambatan perpindahan muatan listrik, dan (b) dikendalikan proses difusi.....                                  | 18 |
| <b>Gambar 2.4</b> Gambar Klasifikasi Tanin.....   | 26 |
| <b>Gambar 2.5</b> Gambar Contoh Katekin Pada Teh Hijau.....   | 27 |
| <b>Gambar 2.6</b> Gambar Hasil Spektra Inframerah Ekstrak.....  | 28 |
| <b>Gambar 2.7</b> Gambar struktur monomer katekin.....  | 29 |
| <b>Gambar 2.8</b> Gambar struktur monomer katekin dan kafein.....   | 30 |
| <b>Gambar 2.9</b> Gambar Variasi Weight Loss dengan waktu perendaman pada spesimen baja mild dalam 0,2 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> dan penambahan konsentrasi ekstrak daun teh.....    | 30 |
| <b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir.....   | 33 |
| <b>Gambar 3.2</b> Spesimen Baja API 5L Grade B.....   | 37 |
| <b>Gambar 3.3</b> Alat evaporator.....  | 38 |
| <b>Gambar 3.4</b> Alat uji spektrophotometri UV-Vis.....  | 39 |
| <b>Gambar 3.5</b> Alat uji FTIR.....  | 40 |
| <b>Gambar 3.6</b> Pengujian Weight loss.....  | 41 |
| <b>Gambar 3.7</b> Rangkaian Alat Uji Polarisasi.....  | 43 |
| <b>Gambar 3.8</b> Alat Uji XRD.....   | 43 |
| <b>Gambar 4.1</b> Hasil Uji FTIR ekstrak daun teh ( <i>Camellia sinensis</i> ) .....  | 46 |
| <b>Gambar 4.2</b> Hasil Uji FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Ekstrak Daun Teh ( <i>Camellia sinensis</i> ) 900 ppm pada Lingkungan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ..... | 48 |
| <b>Gambar 4.3</b> Hasil Uji FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Ekstrak Daun Teh dan Spektrum FTIR Ekstrak Daun Teh.....   | 50 |
| <b>Gambar 4.4</b> Hasil Uji FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penam-  |    |

|   |    |
|---|----|
| bahan Inhibitor Ekstrak Daun Teh ( <i>Camellia sinensis</i> ) 900 ppm pada Lingkungan $\text{CH}_3\text{COOH}$ .....  | 52 |
| <b>Gambar 4.5</b> Hasil Uji FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Ekstrak Daun Teh dan Spektrum FTIR Ekstrak Daun Teh.....                               | 54 |
| <b>Gambar 4.6</b> Grafik Laju Korosi Inhibitor Daun Teh ( <i>Camellia sinensis</i> ) terhadap Baja API 5L Grade B pada Lingkungan $\text{H}_2\text{SO}_4$ .....         | 56 |
| <b>Gambar 4.7</b> Grafik Efisiensi Inhibisi Inhibitor Daun Teh ( <i>Camellia sinensis</i> ) terhadap Baja API 5L Grade B pada Lingkungan $\text{H}_2\text{SO}_4$ .....  | 57 |
| <b>Gambar 4.8</b> Grafik Laju Korosi Inhibitor Daun Teh ( <i>Camellia sinensis</i> ) terhadap Baja API 5L Grade B pada Lingkungan $\text{CH}_3\text{COOH}$ .....        | 59 |
| <b>Gambar 4.9</b> Grafik Efisiensi Inhibisi Inhibitor Daun Teh ( <i>Camellia sinensis</i> ) terhadap Baja API 5L Grade B pada Lingkungan $\text{CH}_3\text{COOH}$ ..... | 59 |
| <b>Gambar 4.10</b> Perbandingan Kurva Tafel pada Konsentrasi Inhibitor 300 ppm dan 900 ppm dalam Lingkungan $\text{H}_2\text{SO}_4$ .....                               | 61 |
| <b>Gambar 4.11</b> Perbandingan Kurva Tafel pada Konsentrasi Inhibitor 700 ppm dan 900 ppm dalam Lingkungan $\text{CH}_3\text{COOH}$ .....                              | 63 |
| <b>Gambar 4.12</b> Kurva Nyquist untuk Sampel Inhibitor 300 ppm $\text{H}_2\text{SO}_4$ .....   | 65 |
| <b>Gambar 4.13</b> Kurva Nyquist untuk Sampel Inhibitor 700 ppm $\text{CH}_3\text{COOH}$ .....  | 65 |
| <b>Gambar 4.14</b> Hasil Uji XRD pada Permukaan Baja API 5L Grade B Tanpa Penambahan Inhibitor pada Lingkungan $\text{H}_2\text{SO}_4$ .....                            | 69 |
| <b>Gambar 4.15</b> Hasil Uji XRD pada Permukaan Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor pada Lingkungan $\text{H}_2\text{SO}_4$ .....                           | 70 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Gambar 4.16</b> Perbandingan Hasil Pengujian XRD pada Baja API 5L Grade B.....   | 71 |
| <b>Gambar 4.17</b> Hasil Uji XRD pada Permukaan Baja API 5L Grade B Tanpa Penambahan Inhibitor pada Lingkungan $\text{CH}_3\text{COOH}$ ..... | 72 |
| <b>Gambar 4.18</b> Hasil Uji XRD pada Permukaan Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor pada Lingkungan $\text{H}_2\text{SO}_4$ ..... | 73 |
| <b>Gambar 4.19</b> Perbandingan Hasil Pengujian XRD pada Baja API 5L Grade B.....   | 74 |

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabel 2.1</b> Tabel Asam Lemah dan Asam Kuat.....   | 11 |
| <b>Tabel 2.2</b> Tabel Konstanta Laju Korosi.....  | 14 |
| <b>Tabel 2.3</b> Kategori Laju Korosi.....   | 14 |
| <b>Tabel 3.1</b> Komposisi Kimia API 5L Grade B.....   | 35 |
| <b>Tabel 4.1</b> Tabel total tanin pada inhibitor daun teh.....  | 45 |
| <b>Tabel 4.2</b> Hasil FTIR Ekstrak Daun Teh.....  | 47 |
| <b>Tabel 4.3</b> Hasil FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penam-<br>bahan Inhibitor Ekstrak Daun Teh ( <i>Camellia sinensis</i> )<br>900 ppm pada Lingkungan $H_2SO_4$ .....  | 49 |
| <b>Tabel 4.4</b> Perbandingan Hasil FTIR Baja API 5L Grade B<br>dengan Ekstrak Daun Teh.....   | 51 |
| <b>Tabel 4.5</b> Hasil FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penam-<br>bahan Inhibitor Ekstrak Daun Teh ( <i>Camellia sinensis</i> )<br>900 ppm pada Lingkungan $CH_3COOH$ ..... | 53 |
| <b>Tabel 4.6</b> Perbandingan Hasil FTIR Baja API 5L Grade B<br>dengan Ekstrak Daun Teh.....   | 55 |
| <b>Tabel 4.7</b> Tabel Analisa Tafel dengan Konsentrasi Inhibitor<br>300 ppm dan 900 ppm dalam Lingkungan $H_2SO_4$ .....  | 62 |
| <b>Tabel 4.8</b> Tabel Analisa Tafel dengan Konsentrasi Inhibitor<br>300 ppm dan 900 ppm dalam Lingkungan<br>$CH_3COOH$ .....  | 63 |
| <b>Tabel 4.9</b> Perbandingan Laju Korosi Metode Tafel dengan<br><i>Weight Loss</i> .....  | 64 |
| <b>Tabel 4.10</b> Model Rangkaian Listrik Hasil Pengujian EIS..  | 66 |
| <b>Tabel 4.11</b> Data Equivalent Circuit Inhibitor Ekstrak Daun<br>Teh.....   | 66 |
| <b>Tabel 4.12</b> Energi Bebas Adsorpsi pada Inhibitor Ekstrak   |    |

|   |    |
|---|----|
| Daun Teh di Lingkungan $\text{H}_2\text{SO}_4$ pH 3 dengan masa perendaman 5 hari.....  | 75 |
| <b>Tabel 4.13</b> Energi Bebas Adsorpsi pada Inhibitor Ekstrak Daun Teh di Lingkungan $\text{H}_2\text{SO}_4$ pH 3 dengan masa perendaman 10 hari.....  | 75 |
| <b>Tabel 4.14</b> Energi Bebas Adsorpsi pada Inhibitor Ekstrak Daun Teh di Lingkungan $\text{CH}_3\text{COOH}$ pH 3 dengan masa perendaman 5 hari.....  | 75 |
| <b>Tabel 4.15</b> Energi Bebas Adsorpsi pada Inhibitor Ekstrak Daun Teh di Lingkungan $\text{CH}_3\text{COOH}$ pH 3 dengan masa perendaman 10 hari..... | 76 |



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebanyakan orang mengenal korosi dalam beberapa bentuk, khususnya karat pada pagar besi dan degradasi baja pada tiang pancang atau pada perahu dan perlengkapan perahu. Perpipaan adalah salah satu jenis korosi yang banyak menjadi subjek korosi. Termasuk jaringan pipa minyak dan gas yang kebanyakan korosi terjadi dari dalam pipa. Maka dari itu dapat dikatakan orang-orang mengenal korosi yang didefinisikan secara umum sebagai degradasi material, biasanya logam atau karakteristiknya karena pengaruh reaksi dengan lingkungannya (Roberge, 2008). “Kegagalan Korosi” adalah hasil dari korosi, dimana komponen, struktur atau peralatan kehilangan fungsinya sebagai akibat dari korosi yang diikuti konsekuensi yang serius (Elayaperumal & Raja, 2015).

Banyak kerugian yang diakibatkan oleh korosi, contohnya di Indramayu, korosi menyebabkan kebocoran pada pipa gas di salah satu sumur milik PT Pertamina hingga akhirnya terjadinya ledakan (Widharto, 2004). Saudi Aramco melakukan riset tentang biaya korosi yang dikeluarkan pada industri minyak dan pemurniannya. Menurut mereka bahwa 25% biaya perawatan *plant gas fractionation* untuk korosi, 28% biaya perawatan operasi produksi *onshore*, sedangkan pada *offshore* dibutuhkan 60 – 70% biaya perawatan untuk korosi. Di Amerika kerugian akibat serangan korosi mencapai 15 miliar dollar per tahun atau sekitar 15 triliun rupiah bila 1 dollar AS diasumsikan Rp.10.000,00. (Sulistijono, Shahab, & Pradityana, 2014). Dalam penelitian lain yang dilakukan oleh (Restrepo, et.al, 2008), diketahui bahwa korosi merupakan penyebab terbesar terjadinya kegagalan pada pipa yang diikuti dengan kecelakaan yang melibatkan cairan berbahaya di Amerika Serikat. Tercatat kegagalan tertinggi disebabkan oleh *external corrosion* dengan 119 kejadian dan disusul oleh *internal corrosion* dengan 94 kejadian.



Korosi tidak dapat dicegah tetapi lajunya dapat dikurangi. Berbagai cara telah dilakukan untuk mengurangi laju korosi, salah satunya dengan pemakaian inhibitor. Se jauh ini penggunaan inhibitor merupakan salah satu cara yang paling efektif untuk mencegah korosi, karena biayanya yang relatif murah dan prosesnya yang sederhana (Hermawan, 2007). Inhibitor korosi didefinisikan sebagai suatu zat yang apabila ditambahkan dalam jumlah sedikit ke dalam lingkungan akan menurunkan serangan korosi terhadap struktur baja (Ferdany, 2010).

Senyawa antioksidan adalah senyawa pemberi elektron. Antioksidan bekerja dengan cara mendonorkan elektronnya kepada senyawa yang bersifat oksidan, sehingga menyebabkan terhambatnya aktivitas dari senyawa oksidan tersebut. Kandungan zat antioksidan seperti polifenol, tanin, alkaloid, saponin, minyak atsiri dan asam amino mempunyai banyak unsur N, O, P, S yang dapat membentuk senyawa kompleks sulit larut dengan ion logam yang mampu menghambat korosi pada logam (Asdim, 2007). Pada penelitian ini, inhibitor yang digunakan adalah ekstrak daun teh (*Camelia Sinensis*), karena tanaman teh selain harganya relatif murah, mudah didapat, daun teh juga mempunyai kandungan tanin yang besar dari kopi yaitu sekitar 7 % - 15% dan tidak beracun (Ferdany, 2010). Penelitian ini mencoba mempelajari pengaruh konsentrasi inhibitor ekstrak daun teh terhadap laju korosi baja API 5L GRADE B dalam medium asam lemah dan asam kuat.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh penambahan ekstrak daun teh (*camellia sinensis*) sebagai inhibitor organik terhadap laju korosi baja API 5L GRADE B dalam media  $H_2SO_4$ , dan  $CH_3COOH$  pH 3?
2. Bagaimana cara kerja inhibisi inhibitor ekstrak daun teh pada baja API 5L GRADE B dalam media  $H_2SO_4$ , dan  $CH_3COOH$  pH 3?





---

### **1.3 Batasan Masalah**

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian, ditetapkan batasan-batasan dari penelitian yang dilakukan antara lain :

1. Kondisi permukaan tiap-tiap spesimen dianggap homogen dan bebas cacat
2. Inhibitor yang digunakan adalah daun teh yang didapatkan dari perkebunan teh Rancabali Ciwidey, Jawa Barat.
3. Komposisi selain tanin yang terkandung dalam ekstrak daun teh diasumsikan tidak berpengaruh terhadap laju korosi.
4. pH dianggap konstan
5. Aliran fluida dianggap nol
6. Perubahan terhadap temperature, volume, dan tekanan sepanjang penelitian diabaikan

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa efektifitas pengaruh ekstrak daun teh sebagai inhibitor organik terhadap laju korosi baja API 5L GRADE B dalam  $H_2SO_4$  dan  $CH_3COOH$  pH 3.
2. Menganalisa mekanisme inhibisi inhibitor ekstrak daun teh pada baja API 5L GRADE B dalam  $H_2SO_4$  dan  $CH_3COOH$  pH 3.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian yang akan dilakukan ini diharapkan mampu memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Mengoptimalkan penggunaan ekstrak daun teh sebagai fungsi untuk memperlambat laju korosi baja
2. Dapat mempelajari pengaruh asam kuat dan asam lemah pada saat penambahan ekstrak daun teh terhadap laju korosi



*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Definisi dan Prinsip Dasar Korosi

Korosi didefinisikan sebagai serangan yang menghancurkan dan tidak disengaja pada logam; secara elektrokimia dan biasanya dimulai dari permukaan (Callister, 2013) atau dapat didefinisikan sebagai kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki. Proses korosi dapat terjadi hanya jika 4 komponen dasar terjadinya korosi terpenuhi, komponen tersebut yaitu anoda, katoda, penghantar listrik (kontak metalik), dimana diantara katoda dan anoda harus terdapat kontak listrik agar arus sel korosi dapat mengalir dan elektrolit, merupakan suatu media yang bersifat menghantarkan arus listrik seperti air dan tanah (Supardi, 1997). Untuk material metalik proses korosi biasanya terjadi secara elektrokimia, terjadi reaksi kimia dimana terjadi perpindahan elektron dari suatu spesies kimia ke lainnya. Atom logam memiliki sifat kehilangan atau mendapatkan elektron dari material lainnya, yang disebut sebagai reaksi oksidasi. Sebagai contoh, sebuah hipotesis menyatakan logam M memiliki atom valensi  $n$  mungkin mengalami oksidasi berdasarkan reaksi



Dimana  $M$  menjadi bermuatan positif  $n^{+}$  dan kehilangan elektron valensi  $n$  nya;  $e^{-}$  digunakan untuk menggambarkan elektron. Contoh oksidasi pada logam



Tempat dimana oksidasi terjadi disebut anoda; oksidasi terkadang disebut reaksi anodik. Elektron yang dihasilkan dari masing masing atom logam yang teroksidasi dan berpindah menjadi bagian dari logam lain yang disebut reaksi reduksi. Sebagai contoh, sebuah logam terkorosi dalam larutan asam, dimana memiliki



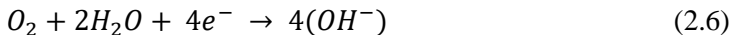
konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ) yang tinggi; ion hidrogen tereduksi sebagai berikut :



Dan membentuk  $H_2$ . Reaksi reduksi lain yang dapat terjadi, bergantung pada sifat dari larutan yang mengenai logam. Untuk larutan asam setelah oksigen terlarut kemungkinan terjadi reaksi sebagai berikut:



Untuk larutan basa dimana oksigen terlarut terjadi reaksi seperti berikut:



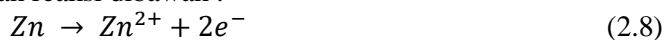
Atom logam yang ada pada larutan juga akan tereduksi, untuk ion yang ada lebih dari satu valensi ( multivalensi ion ) reduksi mungkin terjadi dengan cara:



Dimana ion logam mengurangi valensinya dengan menerima elektron. Sebuah logam dapat tereduksi secara total dari bentuk metalik netral berdasarkan:

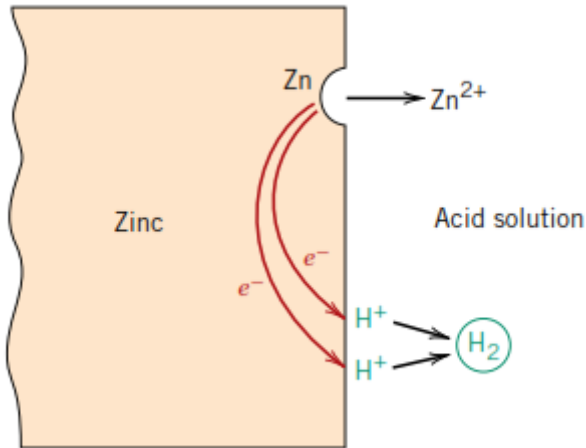


Lokasi dimana terjadinya reduksi disebut katoda. Memungkinkan sebelumnya terjadi dua atau lebih reaksi reduksi terjadi secara bersamaan. Reaksi elektrokimia secara keseluruhan harus terdiri dari paling sedikit satu reaksi oksidasi dan satu reaksi reduksi; sering terjadi reaksi oksidasi dan reduksi individual yang disebut setengah reaksi. Tidak ada akumulasi muatan listrik dari elektron dan ion, maka total nilai dari oksidasi maka sama dengan total nilai dari reduksi, atau seluruh elektron yang terbentuk melalui oksidasi akan dikonsumsi oleh reaksi reduksi. Sebagai contoh pada saat logam zinc dicelupkan dalam larutan asam yang mengandung ion  $H^+$ , pada beberapa daerah pada permukaan logam akan mengalami oksidasi atau korosi seperti digambarkan pada Gambar 2.1 , berdasarkan reaksi dibawah :




---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

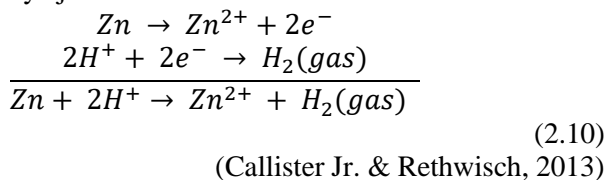


**Gambar 2.1** Reaksi elektrokimia terkait dengan korosi pada zinc dalam larutan asam (sumber : M. G. Fontana, *Corrosion Engineering, 3rd Edition.*)

Karena zinc adalah logam dan merupakan konduktor elektrik yang baik, elektron dapat berpindah ke wilayah dimana ion  $H^+$  tereduksi:



Jika tidak terdapat oksidasi atau reduksi yang terjadi, total reaksi elektrokimia hanya jumlah dari reaksi 2.8 dan 2.9 atau

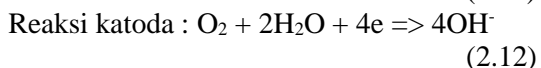
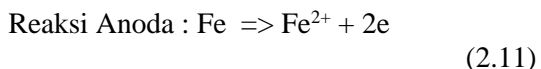


## 2.2 Faktor Penyebab Korosi

Korosi dipengaruhi oleh interaksi (reaksi) antara logam atau paduan dengan lingkungannya. Korosi disebabkan oleh sifat dari kedua logam atau paduan dengan lingkungannya (ASM International, 1992). Faktor yang mempengaruhi laju korosi diantaranya:



- a. Faktor gas dan kandungan terlarut
- $\text{CH}_3\text{COOH}$  (Asam Asetat) , Asam asetat bersifat korosif terhadap banyak logam seperti besi, magnesium, dan seng, membentuk gas hidrogen dan garam-garam asetat (disebut logam asetat). Asam Asetat menghasilkan logam etanoat bila bereaksi dengan logam, dan menghasilkan logam etanoat, air, dan karbondioksida bila bereaksi dengan garam karbonat atau bikarbonat.
  - Klorida ( $\text{Cl}^-$ ), klorida menyerang lapisan mild steel dan lapisan stainless steel. Padatan ini menyebabkan terjadinya *pitting*, *crevice corrosion*, dan juga menyebabkan pecahnya paduan. Klorida biasanya ditemukan pada campuran minyak-air dalam konsentrasi tinggi yang akan menyebabkan proses korosi. Proses korosi juga dapat disebabkan oleh kenaikan konduktivitas larutan garam, dimana larutan garam yang lebih konduktif, laju korosinya juga akan lebih tinggi.
  - Oksigen ( $\text{O}_2$ ), adanya oksigen yang terlarut akan menyebabkan korosi pada metal seperti laju korosi pada *mild steel alloys* akan bertambah dengan meningkatnya kandungan oksigen. Kelarutan oksigen dalam air merupakan fungsi dari tekanan, temperatur dan kandungan klorida. Untuk tekanan 1 atm dan temperatur kamar, kelarutan oksigen adalah 10 ppm dan kelarutannya akan berkurang dengan bertambahnya temperatur dan minyak-air yang dapat menghambat timbulnya korosi adalah 0,05 ppm atau kurang. Reaksi korosi secara umum pada besi karena adanya kelarutan oksigen adalah sebagai berikut :



---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



- Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), ion sulfat ini biasanya terdapat dalam minyak. Dalam air, ion sulfat juga ditemukan dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan bersifat kontaminan, dan oleh bakteri SRB sulfat diubah menjadi sulfide yang korosif.

b. Temperatur

Temperatur adalah faktor eksternal yang kompleks. (ASM International, 1992). Kenaikan temperatur akan menyebabkan bertambahnya kecepatan reaksi korosi. hal ini terjadi karena makin tinggi temperatur maka energi kinetik dari partikel-partikel yang bereaksi akan meningkat sehingga melampaui besarnya nilai energi aktivasi dan akibatnya laju kecepatan reaksi (korosi) juga akan makin cepat, begitu juga sebaliknya (Fogler, 1992). Walaupun pada kenyataannya kelarutan oksigen berkurang pada saat temperaturnya meningkat. (ASM International, 1992)

c. Faktor pH

pH dalam proses korosi sangat berpengaruh untuk terjadi apa tidaknya proses korosi. Besarnya pH biasanya dinyatakan dengan angka berkisar antara 0-14. Jika pH berkisar antara 0–7 maka lingkungan bersifat asam sedangkan bila pH berkisar antara 7–14 maka lingkungan bersifat basa. Lingkungan dinyatakan netral bila memiliki pH 7. Sedangkan untuk besi, laju korosi rendah pada pH antara 7 sampai 13. Laju korosi akan meningkat pada  $\text{pH} < 7$  dan pada  $\text{pH} > 13$ .

d. Faktor Bakteri Pereduksi

Pada kasus tertentu pada lingkungan bisa hidup sejenis bakteri anaerobic yang hanya bertahan dalam kondisi tanpa zat asam. Adanya bakteri pereduksi sulfat akan mereduksi ion sulfat menjadi gas  $\text{H}_2\text{S}$ , yang mana jika gas tersebut kontak dengan besi akan menyebabkan terjadinya korosi

e. Faktor Aliran Fluida

Aliran fluida yang tinggi diatas kecepatan kritisnya di dalam pipa berpotensi menimbulkan korosi. Kerusakan permukaan logam yang disebabkan oleh aliran fluida yang sangat deras itu yang



disebut erosi. Bagian yang kasar dan tajam yang akan mudah terserang korosi dan bila ada gesekan akan menimbulkan abrasi lebih berat lagi. (Bayuseno.2012) .Proses erosi dipercepat oleh kandungan partikel padat dalam fluida yang mengalir tersebut atau oleh adanya gelembung-gelembung gas. Dengan rusaknya permukaan logam, rusak pula lapisan film pelindung sehingga memudahkan terjadinya korosi . Kalau hal ini terjadi maka proses ini disebut karat erosi.

### 2.2.1 Pengaruh pH Terhadap Korosi

Ketika membicarakan tentang pH maka akan ingat dengan keberadaan dari ion  $H^+$  dan  $OH^-$ . Ion  $H^+$  bersifat asam, sementara ion  $OH^-$  bersifat basa. Penambahan ion asam atau alkali pada air akan meningkatkan konduktivitas atau merubah karakteristik lain dari cairan, tetapi tidak menambahkan atau mengurangi keasamannya. Semakin tinggi pH berarti bahwa semakin sedikit ion hidrogen yang bebas (Roberge, 2008). Larutan yang bersifat asam sangat korosif terhadap logam dimana logam yang berada didalam media larutan asam akan lebih cepat terkorosi karena karena merupakan reaksi anoda. Sedangkan larutan yang bersifat basa dapat menyebabkan korosi pada reaksi katodanya karena reaksi katoda selalu serentak dengan reaksi anoda (Djaprie, 1995). Air adalah pelarut yang sangat efektif untuk senyawa ionik. Meskipun air adalah molekul netral elektrik, memiliki wilayah positif (atom H) dan negatif (atom O), atau kutub positif dan negatif,, karena alasan ini air adalah pelarut polar. Asam dan basa adalah elektrolit. Beberapa asam, termasuk asam klorida, dan asam nitrat adalah elektrolit kuat. Asam ini diasumsikan mengionisasi sepenuhnya dalam air; misalnya ketika gas hidrogen klorida dilarutkan dalam air, membentuk  $H^+$  terhidrasi dan ion  $Cl^-$ . Dengan kata lain, semua molekul  $HCl$  yang terlarut terpisah menjadi  $H$  terhidrasi dan ion  $Cl$ .



(2.12)

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA





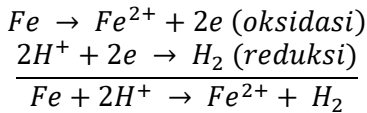
Ionisasi asam asetat ditulis dengan panah ganda untuk menunjukkan bahwa itu adalah reaksi reversibel ; yaitu reaksi dapat terjadi di kedua arah. Oleh karena itu disebut sebagai elektrolit lemah. (Chang, 2010)

**Tabel 2.1** Tabel Asam Lemah dan Asam Kuat (sumber: (Chang, 2010))

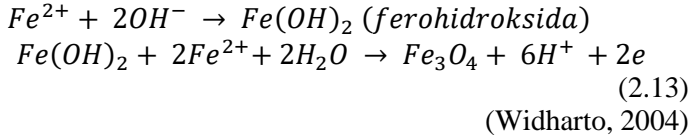
| Some Common Strong and Weak Acids |                                |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| Strong Acids                      |                                |
| Hydrochloric acid                 | HCl                            |
| Hydrobromic acid                  | HBr                            |
| Hydroiodic acid                   | HI                             |
| Nitric acid                       | HNO <sub>3</sub>               |
| Sulfuric acid                     | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |
| Perchloric acid                   | HClO <sub>4</sub>              |
| Weak Acids                        |                                |
| Hydrofluoric acid                 | HF                             |
| Nitrous acid                      | HNO <sub>2</sub>               |
| Phosphoric acid                   | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> |
| Acetic acid                       | CH <sub>3</sub> COOH           |

### 2.2.1.1 Pengaruh H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Terhadap Korosi

Larutan asam sulfat merupakan elektrolit kuat. Asam sulfat sebagai zat pengoksidator kuat mengakibatkan logam Fe teroksidasi menjadi Fe<sup>2+</sup> yang tidak stabil dan dapat bereaksi dengan ion hidroksil yang bermuatan negatif yang diperoleh dari reaksi dissosiasi air membentuk ferihidroksida (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) yang berwarna kuning kemerahan yang bersifat magnetik (Gusti, 2011), yang dijelaskan dengan reaksi berikut

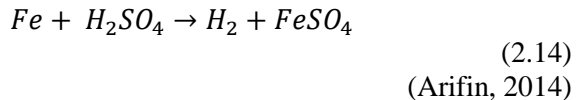


Selanjutnya



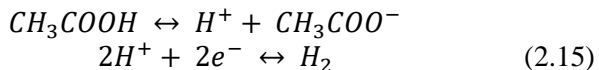
Diketahui bahwa pengaruh asam sulfat terhadap laju korosi baja sangat tinggi sekali. Dapat dijelaskan bahwa semakin besar konsentrasi asam sulfat maka semakin banyak atom – atom yang terlepas dari besi (Rieger, 1992).

Asam sulfat bereaksi dengan kebanyakan logam via reaksi pengganti tunggal, menghasilkan gas hidrogen dan logam sulfat.  $H_2SO_4$  encer menyerang besi, aluminium, seng, mangan, magnesium dan nikel. Reaksi antara asam sulfat dengan logam biasanya akan menghasilkan hidrogen seperti yang ditunjukkan pada persamaan di bawah ini.



### 2.2.1.2 Pengaruh $CH_3COOH$ Terhadap Korosi

Asam asetat dapat menurunkan pH akibat peningkatan konsentrasi proton (ion  $H^+$ ) yang dikonsumsi oleh reaksi katodik sebagai berikut:



Dan menyebabkan reaksi anodik bertambah cepat :



Akibat adanya peningkatan konsentrasi proton ( $H^+$ ) ini, elektron yang berasal dari reaksi anodik akan berikatan dengan ion  $H^+$  sehingga jumlah ion  $Fe^{2+}$  yang dilepaskan untuk menyeimbangkan kelebihan muatan positif akan semakin tinggi. Hal ini dapat meningkatkan arus batas katodik sehingga laju pelarutan Fe

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



semakin tinggi (Santoso, 2011). Baja diserang cukup cepat oleh seluruh konsentrasi  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , bahkan dalam temperatur ruangan. Asam asetat glasial dalam temperatur ruangan kurang agresif dibandingkan dengan larutan asam lainnya, tetapi tetap memberikan laju korosi 0,8 sampai 1,3 mm/yr (30 sampai 50 mils/yr) (Gaverick, 1994).

## 2.3 Perhitungan Laju Korosi

Laju korosi adalah efek korosi pada logam (perubahan atau kerusakan) per unit waktu. Jenis dari laju korosi yang digunakan bergantung pada spesifikasi teknik dan efek dari jenis korosi. Laju korosi dapat dinyatakan sebagai peningkatan kedalaman korosi per unit waktu (laju penetrasi, sebagai contoh mils/yr) atau massa dari logam yang berubah menjadi produk korosi per unit area permukaan per unit waktu (*weight loss* sebagai contoh  $\text{g/m}^2/\text{d}$ ). Efek korosi mungkin berbeda dari waktu ke waktu dan mungkin tidak sama ada setiap titik permukaan (ASM International, 1992). Dimana laju korosi dapat diketahui melalui metode sebagai berikut.

### 2.3.1 Metode kehilangan berat (*weight loss*)

Metode ini adalah metode paling sederhana dibandingkan dengan metode pengukuran korosi yang lain. Dalam metode ini dimensi awal seperti panjang, diameter, dan berat spesimen diukur secara akurat, kemudian spesimen direndam atau dicelupkan dalam media korosif dalam rentang waktu tertentu sehingga akan terjadi reaksi dengan lingkungan dan terjadi korosi. Pada spesimen yang terkorosi akan kehilangan berat karena terbentuknya produk korosi, spesimen kemudian dikeluarkan dan dibersihkan produk korosinya, kemudian ditimbang. Persamaan yang digunakan untuk menghitung laju korosi pada metode kehilangan berat adalah sebagai berikut:

$$\text{Laju korosi} = \frac{K.W}{D.A.T} \quad (2.17)$$

dimana K = konstanta

T = waktu perendaman



A = area (cm<sup>2</sup>)

W = Massa yang hilang (gram)

D = Massa Jenis (g/cm<sup>3</sup>)

Dengan pengkonversian unit satuan laju korosi dapat dilihat pada tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Tabel Konstanta Laju Korosi (sumber: ASTM,1999)

| Corrosion Rate Unit Desired | Constant (K) in Corrosion Rate Equation |
|-----------------------------|---|
| Mils per year (mpy)         | $3,45 \times 10^6$                      |
| Milimeters per year (mm/y)  | $8,76 \times 10^4$                      |

(ASTM, 1999)

mpy adalah perhitungan kecepatan korosi yang paling populer di amerika serikat, meskipun ditambahkan penggunaan metric units dibeberapa tahun belakangan ini. konversi ke equivalent metric penetration rate sebagai berikut :

$$1\text{mpy}=0,0254\text{mm/yr}=25,4\mu\text{m/yr}=2,90\text{mm/h}=0,805\text{pm/yr} \quad (2.18)$$

Dimana laju korosi dikategorikan seperti pada tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Kategori Laju Korosi

| Relative Corrosion Resistance | Approximate metric equivalent |          |                 |         |        |
|-------------------------------|-------------------------------|----------|-----------------|---------|--------|
|                               | mpy                           | mm/y     | $\mu\text{m/y}$ | nm/hr   | pm/sec |
| Outstanding                   | <1                            | <0.02    | <25             | <2      | <1     |
| Excellent                     | 1-5                           | 0.02-0.1 | 25-100          | 2-10    | 1-5    |
| Good                          | 5-20                          | 0.1-0.5  | 100-500         | 10-50   | 5-20   |
| Fair                          | 20-50                         | 0.5-1    | 500-1000        | 50-150  | 20-50  |
| Poor                          | 50-200                        | 1-5      | 1000-5000       | 150-500 | 50-200 |
| Unacceptable                  | 200+                          | 5+       | 5000+           | 500+    | 200+   |

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



### 2.3.2 Metode Polarisasi Tafel

Pengertian polarisasi adalah perubahan potensial dari keadaan seimbang. Ketika suatu logam tidak berada pada kesetimbangan dengan larutan yang mengandung ion-ionnya, potensial elektrodanya berbeda dari potensial korosi bebas dan selisih antar keduanya bisa disebut polarisasi (Trethewey & Chamberlain, 1991). Laju korosi sebenarnya belum dapat dilihat dari perbedaan perbedaan potensial antara katoda dan anoda. Namun juga tergantung dari kerapata arus yang muncul. Korosi dapat digambarkan dengan kurva tegangan fungsi arus yang selanjutnya disebut dengan polarisasi.

Potensial polarisasi,  $\eta$  atau potensial lebih, adalah selisih antara potensial terapan terhadap potensial korosi logam pada keadaan kesetimbangan dengan ionnya dalam larutan (elektrolit). Parameter ini dapat digunakan untuk menyatakan laju pelarutan atau laju proses korosi logam yang bersangkutan, yang dikenal dengan persamaan Tafel sebagai berikut

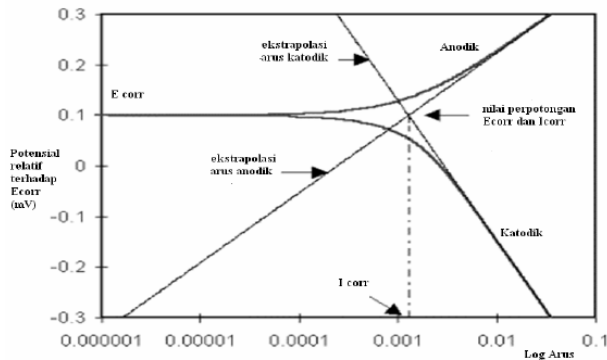
Untuk polarisasi anodik,

$$\eta_{\alpha} = \beta_{\alpha} \log i_{\alpha} - \beta_{\alpha} \log i_0 \quad (2.19)$$

Untuk polarisasi katodik,

$$\eta_{\kappa} = \beta_{\kappa} \log i_{\kappa} - \beta_{\kappa} \log i_0 \quad (2.20)$$

Dengan  $\eta_{\alpha}$ ,  $\eta_{\kappa}$ ,  $i_{\alpha}$ ,  $i_{\kappa}$  dan  $i_0$  berturut turut adalah potensial polarisasi anodik, potensial polarisasi katodik, rapat arus anodik, rapat arus katodik dan rapat arus korosi pada kesetimbangan. Sedangkan  $\beta_{\alpha}$  dan  $\beta_{\kappa}$  disebut sebagai tetapan tetapan Tafel atau beta anodik dan beta katodik. Ungkapan persamaan diatas menunjukkan bahwa aluran  $\eta$  terhadap  $\log I$  baik pada proses anodic maupun proses katodik akan berupa suatu garis lurus dengan kemiringan sama dengan tetapan Tafel yang bersangkutan. Pada saat  $E_{\text{corr}}$   $\eta = 0$  dan tetapan tetapan Tafel dinyatakan dalam besaran mV/decade. Tetapan ini digunakan untuk menentukan rapat arus korosi yang berbanding langsung dengan laju korosi. Kurva yang diperoleh dari pengukuran ini seperti pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Alur kurva tafel (Trethewey & Chamberlain, 1991)

Rapat arus sebanding dengan laju korosi, karena arus yang sama bila terkonsentrasi pada luas permukaan yang lebih kecil akan menghasilkan laju korosi yang lebih besar. Dengan anggapan bahwa korosi berlangsung seragam, atau merata pada seluruh permukaan logam, laju penetrasi korosi persatuan waktu dapat dinyatakan dalam mm/year.

## 2.4 Pengujian EIS

EIS (*Electrochemical Impedance Spectrometry*) adalah sebuah teknik analisis yang digunakan untuk mempelajari sifat elektrik dari sistem elektroda-elektrolit. EIS telah banyak digunakan secara luas dalam bidang elektrokimia seperti pelapisan material (*coating*), baterai, sel bahan bakar (*fuel cell*) dan lainnya (Triwibowo, 2001). Spektroskopi impedansi elektrokimia (EIS) merupakan suatu teknik analisis *in situ* yang digunakan untuk penyelidikan proses elektrokimia dan sistem korosi. Pada prinsipnya EIS dapat menentukan sejumlah parameter yang berkaitan dengan kinetika elektrokimia, termasuk di dalamnya tahanan polarisasi ( $R_p$ ), tahanan larutan ( $R_s$ ), kapasitansi lapisan rangkap (*double layer*), (CDL). Inti dari pendekatan dengan teknik pengukuran spektroskopi impedansi elektrokimia berdasarkan pengertian bahwa arus listrik yang mengalir melintasi suatu

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



antarmuka logam dan larutan dipandang sebagai bagian dari reaksi elektrokimia yaitu proses transfer muatan dan bagian dari proses yang membentuk antarmuka bermuatan. Maka dari itu suatu sistem antarmuka elektroda / larutan dapat dipandang sebagai susunan komponen listrik yang terdiri atas sejumlah resistor dan kapasitor listrik. Gambar 2.4(a) menunjukkan pada antarmuka logam dengan larutan terdapat tahanan polarisasi,  $R_p$ , sedangkan pada Gambar 2.4 (b) menunjukkan adanya hambatan transfer muatan,  $R_{ct}$ , dan hambatan difusi,  $R_d$ , paralel dengan lapisan rangkap listrik yang dinyatakan oleh adanya kapasitansi lapis rangkap, CDL dan secara seri dengan hambatan listrik larutan yang dinyatakan sebagai  $R_s$ . Spektrum EIS berupa aliran Nyquist terlukiskan di bawah masing – masing sirkuit ekuivalen. Impedansi dari sel elektrokimia,  $Z$ , ditentukan berdasarkan analogi dari hukum Ohm seperti di bawah ini. Dengan  $\omega$  adalah frekuensi radial atau kecepatan sudut yang diterapkan ( $\text{rad sec}^{-1}$ ).

$$Z(\omega) = \frac{E(t)}{I(t)} = Z'(\omega) + jZ''(\omega) \quad (2.21)$$

$$Y(\omega) = \frac{I(t)}{E(t)} = Y'(\omega) + jY''(\omega) \quad (2.22)$$

dimana :

$E(t)$  = Potensial yang bergantung waktu (V)

$I(t)$  = Arus yang bergantung waktu (A)

$\omega$  =  $2\pi f$  = frekuensi angular (Hz)

$f$  = frekuensi sinyal (Hz)

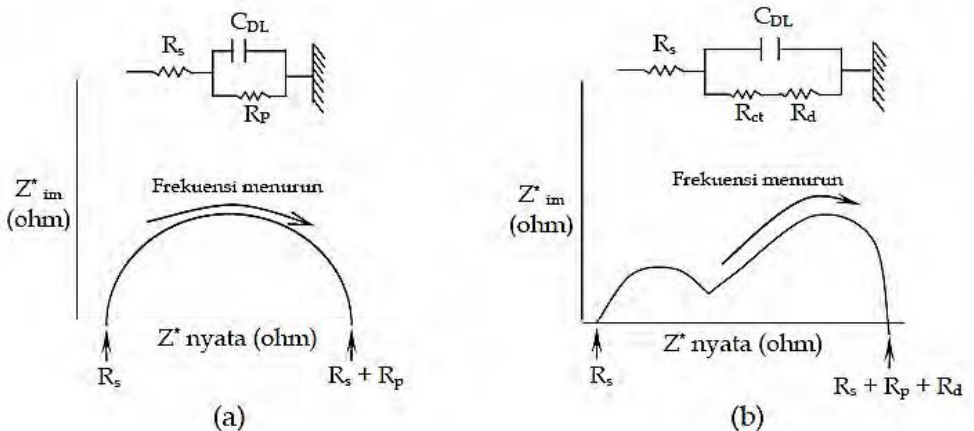
$Z'(\omega), Y'(\omega)$  = bagian real

$Z''(\omega), Y''(\omega)$  = bagian imajiner

$t$  = waktu (s)

$j$  =  $-1^{1/2}$

$j^2$  = -1



**Gambar 2.3** Aliran Nyquist untuk reaksi antarmuka (a) dikendalikan oleh hambatan perpindahan muatan listrik, dan (b) dikendalikan proses difusi (Bundjali, 2005)

## 2.5 Pengendalian Korosi

Korosi tidak mungkin sepenuhnya dapat dicegah karena memang merupakan proses alamiah bahwa semuanya akan kembali ke sifat asalnya. Asalnya dari tanah maka akan kembali ke tanah. Hal ini adalah siklus alam yang akan terus terjadi selama kesetimbangan alam belum tercapai. Namun demikian pengendalian dan pencegahan korosi harus tetap dilakukan secara maksimal. Metode-metode yang dilakukan dalam pengendalian korosi sebagai berikut:

- Pengubahan ketahanan logam terhadap lingkungan
- Pemilihan bahan
- Modifikasi rancangan
- Teknik pelapisan
- Proteksi anodik dan katodik
- Penambahan inhibitor

(Widharto, 2004)





## 2.6 Inhibitor Korosi

Inhibitor adalah suatu zat yang ketika ditambahkan dalam konsentrasi yang relatif rendah ke dalam lingkungan, mengurangi korosivitas. Jenis inhibitor tergantung pada jenis paduan, dan lingkungan. Beberapa mekanisme inhibisi mungkin dapat meningkatkan efektivitas inhibitor. Beberapa bereaksi dengan dan hampir mengeliminasi kimia aktif dalam larutan (seperti melarutkan oksigen). Molekul inhibitor lainnya melekatkan dirinya pada permukaan yang terkorosi dan menghalangi reaksi oksidasi dan reduksi lainnya atau membentuk lapisan pelindung tipis (Callister Jr. & Rethwisch, 2013). Didalam dunia minyak dan gas, inhibitor selalu menjadi pilihan pertama untuk mencegah terjadinya korosi. Selain itu definisi dari inhibitor korosi zat kimia yang ditambahkan dalam konsentrasi kecil kedalam lingkungan korosif, serta sangat efektif untuk menurunkan laju korosi. Efektifitas dari inhibitor korosi dapat dihitung melalui rumus sebagai berikut:

$$\text{Efektifitas inhibitor (\%)} = 100 \frac{CR_{\text{uninhibited}} - CR_{\text{inhibited}}}{CR_{\text{uninhibited}}} \quad (2.23)$$

Dimana  $CR_{\text{uninhibited}}$  = laju korosi pada sistem tanpa inhibitor  
 $CR_{\text{inhibited}}$  = laju korosi pada sistem dengan inhibitor  
Pada umumnya, efektifitas inhibitor akan naik dengan naiknya konsentrasi inhibitor yang diberikan. (inhibitor yang baik akan memberikan 95% inhibisi pada konsentrasi 0.008% dan 90% pada konsentrasi 0.004%) (Roberge, 2008). Berdasarkan bahan dasarnya, inhibitor korosi terbagi menjadi dua yaitu inhibitor dari senyawa organik dan dari senyawa anorganik, inhibitor anorganik yang saat ini biasa digunakan adalah sodium nitrit, kromat, fosfat, dan garam seng. Penggunaan sodium nitrit yang harus dengan konsentrasi besar (300-500 mg/l) menjadikannya inhibitor yang tidak bersifat ekonomis, berdasarkan hasil penelitian, kromat dan seng ditemukan bersifat toksik, dan fosfat merupakan senyawa yang dianggap sebagai polusi lingkungan, karena menyebabkan peningkatan kadar fosforus dalam air. Sehingga inhibitor-inhibitor



tersebut perlu digantikan dengan senyawa lain yang bersifat nontoksik dan mampu terdegradasi secara biologis, namun tetap bernilai ekonomis dan mampu mengurangi laju korosi secara signifikan (Sulistijono, Shahab, & Pradityana, 2014). Sedangkan inhibitor organik adalah inhibitor yang akan Menghambat korosi dengan cara teradsorpsi kimiawi pada permukaan logam yang terbuat dari bahan organik, melalui ikatan logam-hetero atom. Inhibitor ini terbuat dari bahan organik. Contohnya adalah : gugus amine, tio, fosfo, eter dan termasuk senyawa tanin (Haryono & Sugiarto, 2010). Pada senyawa organik salah satunya terdapat zat antioksidan. Antioksidan bekerja dengan cara mendonorkan elektronnya kepada senyawa yang bersifat oksidan, sehingga aktivitas senyawa oksidan tersebut bisa dihambat. Zat antioksidan didefinisikan sebagai senyawa yang dapat menunda, memperlambat, dan mencegah proses oksidasi. Dengan kata lain, dengan adanya senyawa antioksidan pada lingkungan korosif, dapat menghambat laju terjadinya korosi (Sulistijono, Shahab, & Pradityana, 2014).

## 2.7 Isoterm Adsorpsi Langmuir

Isoterm adsorpsi Langmuir merupakan salah satu cara paling sederhana untuk mengetahui model adsorpsi. Pada persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dapat diturunkan secara teoritis dengan menganggap terjadinya kesetimbangan antara molekul-molekul zat yang diadsorpsi pada permukaan adsorben dengan molekul-molekul zat yang tidak teradsorpsi. Persamaan *isoterm* adsorpsi Langmuir dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\theta = \frac{IE\%}{100} \quad (2.24)$$

Dimana :

$\theta$  = derajat *surface coverage*

IE% = efisiensi inhibitor (%)

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



$$K_{ads} = \frac{\theta}{c(1 - \theta)} \quad (2.25)$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln(5,55 \times K_{ads}) \quad (2.26)$$

Dimana :

- C = konsentrasi inhibitor (mg/L)  
K<sub>ads</sub> = konstanta keseimbangan adsorpsi  
 $\theta$  = derajat *surface coverage*  
R = konstanta gas ideal (8,314 J/mol K)  
T = temperatur (K)  
 $\Delta G^\circ$  = standar energi bebas adsorpsi (kJ/mol)

Pada isoterm adsorpsi langmuir, adsorpsi yang dapat terjadi adalah adsorpsi fisika (*physisorption*) ,dan adsorpsi kimia (*chemisorption*) (Amalia, 2016).

## 2.8 Daun Teh (*Camellia Sinensis*)

Salah satu jenis tumbuhan yang mengandung tanin adalah teh yang banyak terletak pada bagian daunnya. *Camellia sinensis* berasal dari daratan Asia Selatan dan Tenggara, namun sekarang telah dibudidayakan di seluruh dunia, baik daerah tropis maupun subtropis. Tumbuhan ini merupakan perdu atau pohon kecil yang biasanya dipangkas bila dibudidayakan untuk dipanen daunnya. Ia memiliki akar tunggang yang kuat. Bunganya kuning-putih berdiameter 2,5–4 cm dengan 7 Biji *Camellia sinensis* serta biji *Camellia oleifera* dapat di pres untuk mendapatkan minyak teh, suatu bumbu yang agak manis sekaligus minyak masak yang berbeda dari minyak pohon teh, suatu minyak atsiri yang dipakai untuk tujuan kesehatan dan kecantikan dan berasal dari dedaunan tumbuhan yang berbeda. Daun teh mengandung senyawa tanin berkisar antara 7-15%. Di dalam daun teh terdapat senyawa tanin, dan tanin inilah yang berfungsi sebagai inhibitor (Putra, 2009).



Selain tanin terdapat kandungan bahan aktif lainnya di dalam teh diantaranya :

a. Katekin

Senyawa katekin (mendominasi hampir 20-30% berat daun teh, dalam basis kering), merupakan senyawa flavonoid dan termasuk salah satu kerabat tanin terkondensasi, sering disebut sebagai polifenol. Katekin telah terbukti memiliki kemampuan untuk menghentikan djapertumbuhan bakteri penyebab keracunan makanan, mencegah tekanan darah tinggi, mengurangi kadar kolesterol dalam darah, menetralkan radikal bebas, mempercepat pembuangan kolesterol melalui feses, dan menghambat terjadinya mutasi pada sel tubuh. Pigmen hijau, kuning dan coklat dalam tanaman teh sangat berhubungan dengan klorofil dan senyawa polifenol ini.

b. Flouride

Unsur flouride (F) yang cukup tinggi dalam teh, dapat membantu mencegah tumbuhnya karies pada gigi serta memperkuat gigi.

c. Vitamin C dan E

Vitamin C dan vitamin E yang terdapat dalam teh juga dapat membantu memperkuat daya tahan tubuh.

d. Kafein

Kafein (merupakan komponen utama alkaloid, dengan kandungan 2-3%-b). Kafein teh berbeda dengan kafein kopi. Kafein teh dengan polifenol teh akan membentuk rasa yang menyegarkan dan merupakan senyawa penting dalam industri minuman karbonasi. Kafein teh merupakan suatu trimetil turunan 2,6-diol dan memiliki sifat yang sangat hidrofilik, larut dalam kloroform, karbon tetraklorida, trikloroetilen, benzena dan alkohol.

e. Tanin

Tanin mengandung zat epigallocatechin dan epicatechin gallat yang merupakan varian dari catechin, mampu bertindak sebagai inhibitor dari angiotensin transferase, yaitu enzim



penyebab tekanan darah tinggi dan mampu mencegah kanker lambung dan kerongkongan.

f. Mangan

Mangan (Mn) yang terkandung dalam teh dapat membantu penguraian gula menjadi energi sehingga dapat membantu menjaga kadar gula dalam darah.

g. Polisakarida

Polisakarida dengan kandungan utama berupa selulosa lipofilik (20%) dan starch, apabila dipanaskan pada temperatur di atas 60°C akan membentuk koloid terdispersi dalam larutan encer, menjadi mengental dan dapat berbusa. Kandungan polisakarida dalam teh sekitar 40% berat kering.

h. Kandungan-kandungan lain dalam teh

Kandungan lainnya: klorofil, tehobromin, tehofilin, tanin, xathine, adenine, minyak atsiri, kuersetin, 20% protein, dan 5-6% pektin. Protein dan peptida dalam tanaman teh tidak larut dalam air karena berikatan dengan tanin. Klorofil tidak larut dalam air. Asam amino utama tanaman teh berupa tehanin (2%). Lemak (sekitar 4%) dengan asam oleat sebagai kandungan utamanya. Saponin terkandung dalam jumlah yang sangat kecil. Kestabilan saponin bergantung pada pH dan terdegradasi pada pH < 2 dan pH > 12. (Prasetyo, 2011)

### **2.8.1 Pengolahan Teh Hijau**

Diantara ketiga jenis teh, yakni teh hitam, teh oolong dan teh pouchong, serta teh hijau, teh hijau boleh dinobatkan sebagai teh yang memiliki potensi aktivitas kesehatan yang paling baik. Hal tersebut dikarenakan katekin yang merupakan komponen bioaktif, selama pengolahan teh hijau dipertahankan jumlahnya dengan cara menginaktivasi enzim polifenol oksidasi, baik itu melalui proses pelayuan maupun pemanasan. Pada proses pengolahan teh lainnya, katekin dioksidasi menjadi senyawa orthoquinon, bisflavanol, theaflavin dan thearubigin yang kemampuannya tidak sekuat katekin. Pengolahan teh hijau Indonesia menganut serangkaian proses fisik dan mekanis tanpa atau sedikit mengalami proses oksimatis terhadap daun teh melalui



sistem panning (sangray). Tahapan pengolahannya terdiri atas pelayuan, penggulungan, pengeringan, sortasi dan grading serta pengemasan (Jaka, 2010)

a. Pelayuan

Berbeda dengan proses pengolahan teh hitam, pelayuan disini bertujuan menginaktivasi enzim polyphenol oksidase agar tidak terjadi proses oksimatis. Akibat proses ini daun menjadi lentur dan mudah digulung. Pelayuan dilakukan dengan cara mengalirkan sejumlah daun teh kedalam mesin pelayuan *Rotary Panner* dalam keadaan panas ( $80-100^{\circ}\text{C}$ ) selama 2-4 menit secara kontinyu. Penilaian tingkat layu daun pada pengolahan teh hijau dinyatakan sebagai persentase layu, yaitu perbandingan daun pucuk layu terhadap daun basah yang dinyatakan dalam persen. Persentase layu yang ideal untuk proses pengolahan teh hijau adalah 60-70%. Tingkat layu yang baik ditandai dengan daun layu yang berwarna hijau cerah, lemas dan lembut serta mengeluarkan bau yang khas.

b. Penggulungan

Pada proses pengolahan teh hijau, penggulungan merupakan tahapan pengolahan yang bertujuan untuk membentuk mutu secara fisik. Selama proses penggulungan daun teh akan dibentuk menjadi gulungan kecil dan terjadi pemotongan. Proses ini dilakukan segera setelah daun layu keluar dari mesin pelayuan. Mesin penggulung yang biasa digunakan adalah *Open Top Roller 26"* type single action selama 15-17 menit.

c. Pengeringan

Pengeringan bertujuan untuk mereduksi kandungan air dalam daun hingga 3-4%. Untuk mencapai kadar air yang demikian rendahnya, pengeringan umumnya dilakukan dalam dua tahap. Pengeringan pertama bertujuan mereduksi kandungan air dan memekatkan cairan sel yang menempel pada permukaan daun. Hasil pengeringan pertama setengah kering dengan tingkat kekeringan (kering dibagi basah) sekira 30-35%. Mesin yang digunakan pada proses pengeringan pertama ini adalah ECP dengan suhu masuk  $130-135^{\circ}\text{C}$  dan suhu keluar  $50-55^{\circ}\text{C}$

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



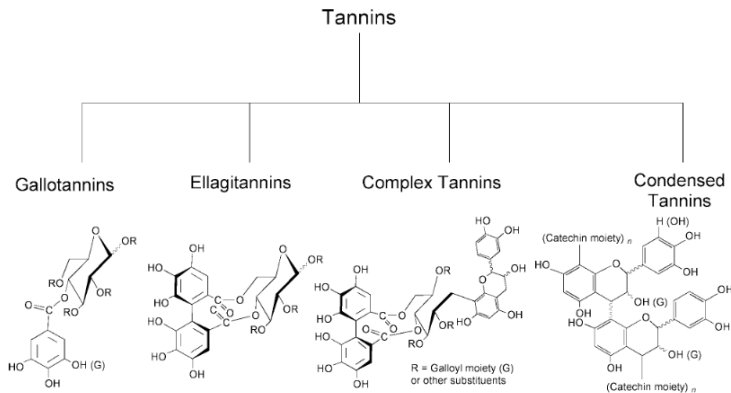
dengan lama pengeringan sekira 25 menit. Disamping memperbaiki bentuk gulungan, pengeringan kedua bertujuan untuk mengeringkan teh sampai kadar airnya menyentuh angka 3-4%. Mesin yang digunakan dalam proses ini biasanya berupa *Rotary Dryer tipe repeat roll*. Lama pengeringan berkisar antara 80-90 menit pada temperatur dibawah 70°C.

d. Sortasi dan *grading*

Seperti halnya pada proses pengolahan teh hitam, proses ini bertujuan untuk memisahkan, memurnikan dan membentuk jenis mutu agar teh dapat diterima baik dipasaran lokal maupun ekspor (Yana, 2004).

## 2.9 Tanin

Tanin adalah campuran polifenol yang terdapat dalam tumbuhan dalam bentuk glikosida yang jika terhidrolisis akan menghasilkan glikon dan aglikon. Sebagai glikosida, tannin larut dalam pelarut dan dalam air dalam bentuk sedikit asam. Dalam keadaan bebas, tannin bersifat asam karena adanya gugus fenol. Tannin terdapat luas dalam tanaman pembuluh. Karena tannin memiliki rasa yang sepat, maka umumnya tannin dihindari oleh hewan pemakan tumbuhan. Oleh sebab itu, tannin digunakan sebagai penolak hewan pemakan tumbuhan. Tanin adalah senyawa organik non toksik yang tergolong polifenol yang bisa diperoleh dari ekstrak tumbuh-tumbuhan seperti gambir, kacang-kacangan, teh, anggur dan lainlain. Tanin dapat berfungsi sebagai zat anti korosi yang dapat menggantikan fungsi kromat dan timbale merah dalam zat dasar. Dalam senyawa tannin, terdapat gugus fungsi hidroksi yang melekat pada cincin aromatis sehingga tannin dapat membentuk kompleks khelat dengan kation besi dan logam lainnya. (Saputri, 2014). Atas dasar karakteristik struktural mereka itu tanin dibagi menjadi empat kelompok utama: *Gallotannins*, *ellagitannins*, *complex tannins*, dan *condensed tannins* (Khanbabaee , 2001).



**Gambar 2.4** Gambar Klasifikasi Tanin (sumber: Khanbabaee, 2001)

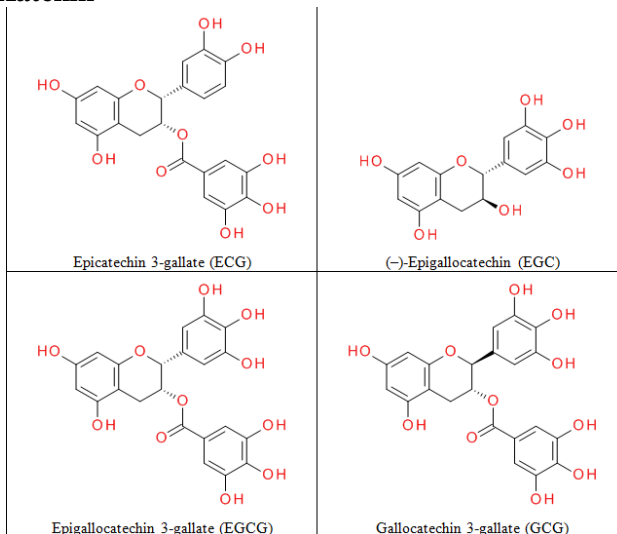
### 2.9.1 Interaksi Tanin dengan Besi

Besi merupakan salah satu unsur transisi deret pertama yang dalam bentuk aliansinya mempunyai banyak manfaat bagi kehidupan manusia. Dengan semakin berkembangnya teknologi dan industri kebutuhan akan besi dan baja semakin meningkat. Besi banyak digunakan untuk industri otomotif, kimia, perminyakan, perabotan rumah tangga, elektronik, dan konstruksi bangunan. Agar mempunyai ketahanan yang lebih baik biasanya besi sering dicampur dengan bahan-bahan lain seperti karbon dan unsur transisi lain sesuai dengan kebutuhan. Senyawa tanin dapat membentuk kompleks dengan besi (II) dan besi (III). Kompleks besi (II)-tanin tidak berwarna dan sangat mudah larut dan teroksidasi. Dengan adanya oksigen, kompleks ini berubah menjadi kompleks besi(III)-tanin yang disebut tanat. Kompleks inilah yang akan melekat pada permukaan besi yang akan menghalangi terjadinya proses korosi lebih lanjut karena kompleks tersebut akan terserap pada permukaan besi dan melindungi permukaan besi (Saputri, 2014).





## 2.9.2 Katekin



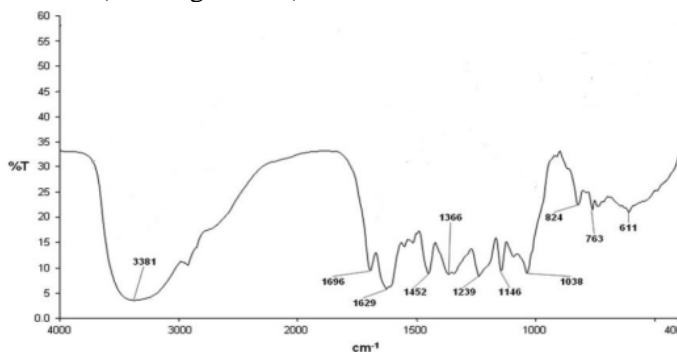
**Gambar 2.5** Gambar Contoh Katekin Pada Teh Hijau, Sumber :  
<http://www.greenteahealtheffects.com>

Tanin terkondensasi semua oligomerik dan polimerik *proanthocyanidins* dibentuk oleh ikatan dari C-4 pada satu katekin dengan C-8 atau C-6 dari monomer katekin selanjutnya (Khanbabaee, 2001). Diasumsikan bahwa monomer katekin memiliki fungsi yang beragam dan awan *p-electronic* dapat berfungsi sebagai inhibitor korosi yang lebih baik (Alsabagh, 2014). Katekin merupakan senyawa yang termasuk dalam golongan flavonoid. Senyawa ini memiliki aktivitas antioksidan berkat gugus fenol yang dimilikinya. Struktur molekul katekin memiliki dua gugus fenol dan satu gugus dihidropiran. Senyawa katekin memiliki lebih dari satu gugus fenol, sehingga sering disebut sebagai senyawa polifenol. Katekin pada daun teh merupakan senyawa yang sangat kompleks, tersusun sebagai komponen senyawa katekin (C), epikatekin (EC), epikatekin galat (ECG), epigalokatekin (EGC), epigalokatekin galat (EGCG), dan galokatekin (GC) (Towaha, 2013).



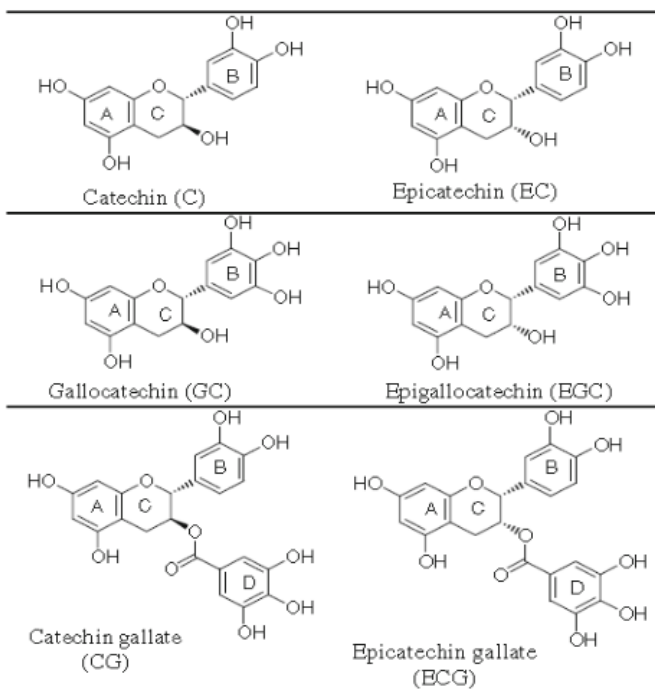
## 2.10 Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan daun teh sebagai korosi inhibitor organik menunjukkan bahwa ekstrak daun teh dapat menghambat laju korosi pada baja. Pada penelitian yang dilakukan oleh A.M. Alsabagh dkk. pada 2014 menganalisa hasil analisis dari FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) terhadap ekstrak teh hijau untuk mengidentifikasi kelompok fungsional. Pada Gambar 2.6 menunjukkan adsorpsi spektrum inframerah dari ekstrak teh hijau dan kelompok fungsional khas katekin yaitu O-H, C=C (untuk cincin aromatik) dan C-O yang dibuktikan masing-masing di 3400 sampai 3100, 1600, dan 1150 sampai 1010  $\text{cm}^{-1}$ . Kelompok fungsional ini sudah diidentifikasi sebagai kelompok anti korosi yang ampuh dalam inhibitor korosi organik seperti yang dilaporkan oleh banyak peneliti. Diasumsikan bahwa monomer katekin memiliki fungsi yang beragam dan awan *p-electronic* dapat berfungsi sebagai inhibitor korosi yang lebih baik. Berdasarkan pertimbangan ini, monomer EGCG diasumsikan berkontribusi lebih selama proses inhibisi korosi karena memiliki 3 cincin aromatik dengan delapan kelompok OH, dimana ECG mengandung 7 kelompok OH dan EC. EGC memiliki lebih sedikit cincin aromatik dan kelompok OH. Gambar 2.7 dan 2.8 menunjukkan struktur dari monomer katekin dan kafein (Alsabagh, 2014).

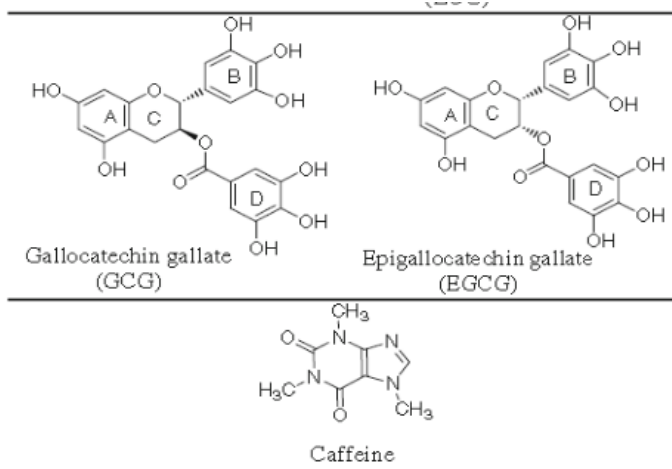


**Gambar 2.6** Gambar Hasil Spektra Inframerah Ekstrak Teh ( sumber: Alsabagh, 2014)

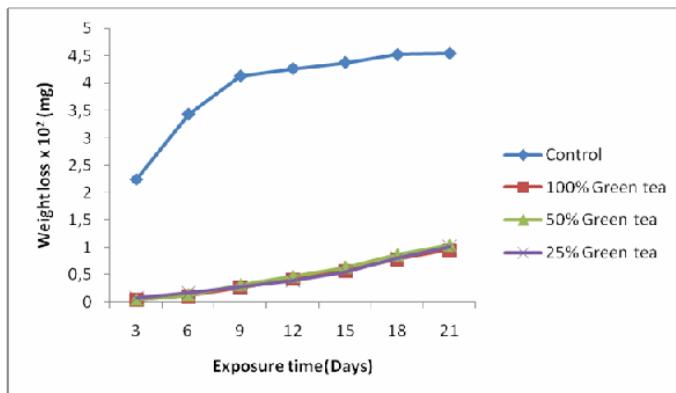
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



**Gambar 2.7** Gambar struktur monomer katekin ( sumber: Alsabagh, 2014)



**Gambar 2.8** Gambar struktur monomer katekin dan kafein (sumber: Alsabagh, 2014)



**Gambar 2.9** Gambar Variasi Weight Loss dengan waktu perendaman pada spesimen baja mild dalam 0,2 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan penambahan konsentrasi ekstrak daun teh hijau (sumber: Loto, 2011)

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Penelitian yang dilakukan oleh C. A. Loto pada 2011 dengan variasi waktu perendaman spesimen yang direndam dalam larutan 0,2 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan penghitungan laju korosi menggunakan *weight loss* dengan tanpa atau adanya penambahan inhibitor ekstrak daun teh dalam variasi yang berbeda ditunjukkan pada gambar 2.8. Penambahan ekstrak teh hijau pada spesimen uji menurunkan korosi secara signifikan selama periode penelitian. Hasil menunjukkan tidak ada kehilangan berat pada semua sampel yang diberi inhibitor pada 3 hari pertama; tetapi meningkat menjadi  $0,50 \times 10^2$  mg pada hari ke 21. Hasil yang didapatkan untuk penambahan konsentrasi teh hijau pada 100 %, 50%, dan 25% pada sampel menunjukkan hasil yang sangat serupa dan memiliki hubungan yang sangat dekat dalam tingkah laku inhibisi korosi. Sehingga menunjukkan sedikit efek konsentrasi ekstrak. Dari hasil dapat dikonfirmasi efek larutan inhibitor ekstrak teh hijau dalam inhibisi korosi pada baja *mild* dalam larutan asam sulfat sangat baik. Kurva laju korosi pada spesimen percobaan tanpa penambahan ekstrak daun teh hijau menunjukkan laju korosi yang tinggi dalam 3 hari pertama penelitian mencapai 70 mm/yr. Dengan penambahan konsentrasi ekstrak daun teh hijau laju korosi berkurang secara signifikan mencapai 2 mm/yr dalam 3 hari pertama dan meningkat menjadi 5 mm/yr pada hari ke 21 eksperimen (Loto, 2011).



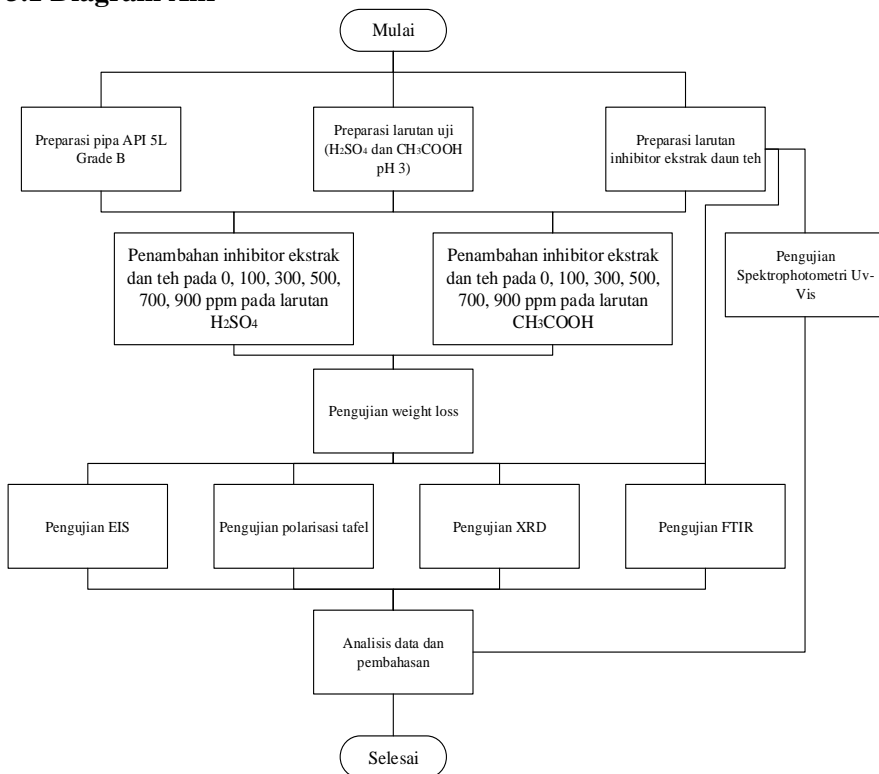
*( Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Diagram Alir**



**Gambar 3.1** Diagram Alir

#### **3.2 Metode Penelitian**

Pada penelitian ini dilakukan dengan metode penelitian sebagai berikut :

1. Studi Literatur



Studi literatur pada penelitian ini mengacu pada jurnal dan buku serta situs-situs yang mempelajari tentang permasalahan korosi dan pencegahannya. Khususnya jurnal dan buku yang membahas mengenai korosi pada lingkungan asam kuat dan asam lemah pH 3, serta jurnal yang membahas tentang kandungan antioksidan dari ekstrak daun teh (*Camellia sinensis*) sehingga dapat digunakan sebagai inhibitor organik untuk mencegah korosi.

2. Diskusi dan *interview*

Metode ini bertujuan untuk memberikan pemahaman dan wawasan kepada penulis dalam memahami masalah dari penelitian. Hal ini dapat dilakukan dengan dosen pembimbing, dosen mata kuliah, dan ahli di bidang korosi.

3. Eksperimental

Eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini antara lain adalah pengujian *spectrophotometri Uv-Vis*, pengujian *fourier transform infra red* (FTIR), pengujian *weight loss*, pengujian *x-ray diffraction* (XRD), pengujian polarisasi tafel, dan pengujian *electrochemical impedance spectroscopy* (EIS).

### 3.3 Alat Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Gelas kaca
2. Gelas plastik
3. Spidol *waterproof*
4. Pipet
5. Penyaring
6. Gelas ukur 1000 ml
7. Gelas ukur 500 ml
8. *Rotatory evaporator*
9. Kertas amplas
10. pH meter

---

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN





11. Jangka sorong
12. Timbangan digital
13. Benang kasur
14. Stik
15. Lem besi
16. Peralatan pengujian FTIR
17. Peralatan pengujian tafel dan EIS
18. Peralatan pengujian XRD
19. Peralatan pengujian spektrophotometri UV-Vis

### 3.4 Bahan

#### a. Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja API 5L GRADE B dengan dimensi 20x10x3 mm yang termasuk ke dalam baja karbon rendah. Permukaan logam diampelas dengan kertas gosok hingga terlihat bersih dari pengotor yang tidak diharapkan. Komposisi pipa API 5L GRADE B sebagai berikut:

**Tabel 3.1** Komposisi Kimia API 5L Grade B

| Unsur | Komposisi Kimia (%) |
|-------|---------------------|
| C     | 0,23                |
| Si    | 0,23                |
| Mn    | 0,47                |
| P     | 0,0013              |
| S     | 0,01                |
| Cr    | 0,033               |
| Ni    | 0,018               |
| Cu    | 0,03                |
| Mo    | 0,01                |
| Al    | 0,001               |

(Sertifikat Inspeksi Linzhou Fengbao Pipe Industry  
Co.,Ltd. No. 1011122935)



- b. Larutan Elektrolit  
Larutan elektrolit yang digunakan sebagai media adalah larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  yang diencerkan dengan aquades sampai pH 3
- c. Inhibitor  
Inhibitor yang digunakan adalah ekstrak daun teh dari perkebunan teh Rancabali yang berada di Ciwidey, Jawa Barat.
- d. Aquades
- e. Ethanol 70%  
Diencerkan dengan aquades hingga 60% sebagai pelarut untuk inhibitor ekstrak daun teh.
- f. Ethanol 96%  
Sebagai pembersih untuk sampel dan gelas yang digunakan dalam penelitian.

### 3.5 Prosedur Penelitian

Penelitian ini memiliki langkah-langkah atau prosedur sebagai berikut.

#### 3.5.1 Preparasi Sampel

Preparasi sampel dilakukan untuk mendapatkan sampel yang sesuai dengan standar yang digunakan dalam pengujian *weight loss*, polarisasi tafel dan EIS.

1. Memotong spesimen dimana batang baja API 5L Grade B memiliki dimensi panjang dan lebar sebesar 1cm 2cm dan tebal sebesar 0,3 cm sebanyak 76 buah
2. Pengamplasan spesimen yang dilakukan dengan menggunakan kertas amplas grade 80 yang bertujuan untuk menghilangkan lapisan anti karat dan pengotor lainnya yang ada pada permukaan spesimen
3. Pengambilan foto spesimen untuk dokumentasi pengamatan visual sebelum dimulai proses penelitian



4. Pengukuran dan penimbangan berat awal sampel sebagai data acuan awal dalam perhitungan dengan metode *weight loss*.



**Gambar 3.2** Spesimen Baja API 5L Grade B

### 3.5.2 Persiapan Larutan Rendam

Larutan yang digunakan sebagai media rendam adalah larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  yang diencerkan dengan menggunakan aquades hingga mendapatkan pH 3. Berikut adalah langkah-langkah untuk membuat larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 3:

1. Menambahkan 40 ml  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ke dalam 960 ml aquades
2. Mengukur pH larutan dengan menggunakan pH meter.
3. Menambahkan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  atau aquades ke dalam larutan hingga mendapatkan pH 3.

Berikut adalah langkah-langkah untuk membuat larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  Ph 3:

1. Menambahkan 2,72 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98% ke dalam 497,28 ml aquades, hingga mendapatkan konsentrasi 0,1 M.
2. Mengukur pH larutan dengan menggunakan pH meter.
3. Melarutkan 5 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,1M kedalam 995 ml aquades.
4. Menambahkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  atau aquades ke dalam larutan hingga mendapatkan pH 3.

### 3.5.3 Persiapan Larutan Inhibitor

Inhibitor yang digunakan adalah ekstrak dari daun teh (*Camelia Sinensis*). Berikut adalah preparasi yang diperlukan :

- Menghaluskan daun teh dengan blender hingga berbentuk serbuk.



- Merendam daun teh hijau selama 3 hari dalam larutan ethanol 60%.
- Hasil perendaman kemudian disaring hingga didapatkan filtratnya
- Filtrat yang dihasilkan selanjutnya diuapkan dengan menggunakan *rotary evaporator* pada temperatur 70°C selama 13 jam sehingga menghasilkan ekstrak pekat dalam bentuk cairan kental yang nantinya dilarutkan dalam korosif dengan variasi konsentrasi



**Gambar 3.3** Alat evaporator

### 3.5.4 Langkah Kerja Uji Rendam

Wadah yang telah dipersiapkan dimasukkan larutan uji yang masing masing diberi label agar diketahui variabelnya. Larutan uji dilakukan pengecekan agar mendapatkan pH 3. Pengujian dilakukan dengan melarutkan inhibitor dengan konsentrasi sebesar 0, 100, 300, 500, 700, dan 900 ppm.

## 3.6 Pengujian

### 3.6.1 Pengujian Spektrophotometri UV-Vis

Pengujian spektrofotometri bertujuan untuk menentukan kadar tanin total di dalam ekstrak daun teh. Pengujian ini dilakukan di Unit Layanan Pengujian Farmasi Universitas Airlangga



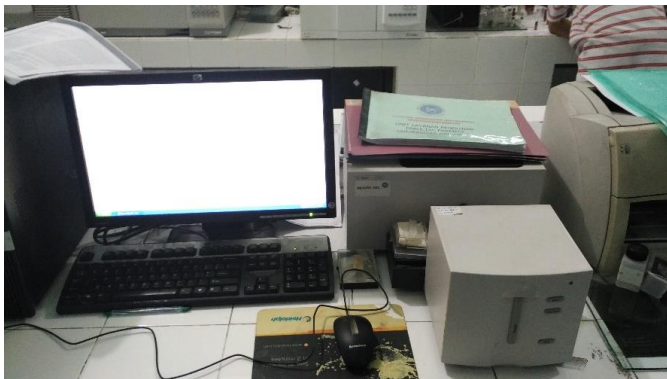
Surabaya. Langkah-langkah pengujian spektrophotometri adalah sebagai berikut:

**A. Pembuatan larutan kurva baku Tanin**

1. Pipet 1mL (masing-masing kadar)
2. Tambahkan berturut-turut 0,5 mL Folin dan 2 mL  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

**B. Preparasi Sampel**

1. Menimbang 100 mg sampel.
2. Melarutkan sampel dalam 50 mL  $\text{H}_2\text{O}$ .
3. Mengencerkan sesuai rentang kurva baku.
4. Pipet 1 mL.
5. Menambahkan berturut-turut 0,5 mL Folin dan 2 mL  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .
6. Mengukur Absorban standar dan sampel pada  $\lambda$  maksimum ( $\pm 770$  nm).



**Gambar 3.4** Alat uji spektrophotometri UV-Vis

### 3.6.2 Pengujian FTIR

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk pada inhibitor ekstrak daun teh serta pada baja API 5L Grade B yang telah dilakukan perendaman dalam pengujian *weight loss*. Pengujian FTIR dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material ITS. Metode



spektroskopi yang digunakan dalam pengujian FTIR adalah metoda absorpsi yaitu suatu metoda yang didasarkan atas perbedaan penyerapan radiasi inframerah. Spektrum inframerah tersebut dihasilkan dari pentransmision cahaya yang melewati *sample*, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi dari panjang gelombang. Dari panjang gelombang tersebut, dapat ditentukan gugus fungsi yang bersesuaian dengan panjang gelombang yang terekam pada masing-masing sampel.



**Gambar 3.5** Alat uji FTIR

### 3.6.3 Pengujian *Weight Loss*

Pengujian kehilangan berat dilakukan di Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan Departemen Teknik Material FTI-ITS. Metode kehilangan berat ini adalah metode yang digunakan dengan cara menghitung perbedaan berat awal sebelum sampel direndam dan berat akhir ketika sampel diangkat dari perendaman. Langkah-langkah pengujian *weight loss* dapat dijelaskan sebagai berikut yang mengacu pada standar ASTM (*American Standard and Testing Material*) G-31 “*Laboratory Corrosion Testing of Metals*” :

---

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

1. Berat awal masing-masing spesimen ditimbang
2. Merendam spesimen kedalam larutan elektrolit yang terdapat pada botol kaca yang berisi campuran larutan elektrolit  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 3 dengan masing-masing ketentuan konsentrasi inhibitor.
3. Mengambil spesimen pada hari ke-5, setelah itu di dikeringkan, dibersihkan dan kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat akhir spesimen
4. Melakukan hal yang sama pada langkah (4) pada pengambilan spesimen hari ke-10



**Gambar 3.6** Pengujian *Weight loss*

### 3.6.4 Pengujian Polarisisasi Tafel

Peralatan pengujian polarisasi tafel memiliki tiga komponen penting, yaitu :

a. Elektroda Kerja

Elektroda yaitu spesimen baja API 5L Grade B yang telah dibentuk dengan cara dipotong menjadi dimensi yang telah ditentukan dan telah diukur dan diberi tanda pada luas permukaan yang tercelup.

b. Elektroda Bantu

Elektroda yang dipakai berupa lembaran platina dengan ukuran kurang lebih 2cm x 3cm. Fungsi dari elektroda ini adalah untuk menghantarkan arus ke elektroda kerja.

c. Elektroda Acuan



Elektroda acuan digunakan sebagai titik acuan dan juga sebagai pembanding dalam pengukuran-pengukuran potensial elektroda kerja. Pada pengujian ini elektroda acuan yang digunakan adalah elektroda acuan Ag/AgCl. Prosedur pengujian polarisasi potensiodinamik adalah sebagai berikut:

- Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen baja API 5L Grade B dengan *surface* kontak sebesar 10 mm x 10 mm dan larutan elektrolit dan penambahan inhibitor
- Memasukkan larutan elektrolit kedalam gelas sebanyak 100 ml.
- Memasang elektroda kerja pada rangkaian alat polarisasi.
- Menjalankan pengujian polarisasi dengan bantuan alat AUTOLAB PGSTAT dan software NOVA

### 3.6.5 Pengujian EIS

Pengujian *Eletrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) pada penelitian ini dilakukan dengan mengetahui mekanisme inhibisi pada inhibitor ekstrak daun teh yang nantinya di jelaskan dengan parameter elektrokimia berupa rangkaian listrik yang disebut dengan *equivalent circuit*

Prosedur pengujian polarisasi potensiodinamik adalah sebagai berikut:

- Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen baja API 5L Grade B dan larutan elektrolit dan penambahan inhibitor
- Memasukkan larutan elektrolit kedalam gelas sebanyak 100 ml.
- Memasang elektroda kerja pada rangkaian alat polarisasi.
- Menjalankan pengujian EIS dengan bantuan alat AUTOLAB PGSTAT dan software NOVA





**Gambar 3.7** Rangkaian Alat Uji Polarisasi

### 3.6.6 Pengujian XRD

Pengujian XRD atau analisa difraksi sinar x dilakukan untuk mengetahui komposisi senyawa yang terbentuk pada baja API 5L Grade B yang telah mengalami pengujian korosi. Yakni dengan pengkorosian selama 10 hari, dengan menggunakan mesin XRD. Karakterisasi XRD dilakukan menggunakan alat *Pan Analytical XRD* di Laboratorium Karakterisasi Teknik Material. Grafik dari pengujian XRD menggunakan *software jade*. Untuk mengidentifikasi fasa yang terbentuk pada lapisan spesimen.



**Gambar 3.8** Alat Uji XRD



*( Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## **BAB IV**

### **ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil Pengujian**

##### **4.1.1 Hasil Uji Tanin**

Ekstrak kental dari inhibitor daun teh diuji dengan spektrophotometri UV-Vis untuk mengetahui kadar tanin total. Berikut adalah hasil pengamatan sampel:

**Tabel 4.1** Tabel total tanin pada inhibitor daun teh

| Berat Sampel (g) | Ad. Volume (mL) | Abs     | Concentration (ppm) | Kadar Tannin % (b/b) |
|------------------|-----------------|---------|---------------------|----------------------|
| 0,1030           | 50              | 0,35306 | 12,0054             | 23,31                |
| 0,1011           | 50              | 0,67568 | 22,9901             | 22,74                |
| 0,1008           | 50              | 0,67885 | 23,0981             | 22,91                |
| Rata-rata        |                 |         |                     | 23,03                |

Dari Tabel 4.1, dapat dilihat bahwa tanin yang didapat dari tiga kali pengujian bahwa didapatkan kandungan tanin rata-rata sebesar 23,03 % (b/b). Kandungan tanin yang didapatkan juga berasal dari senyawa yang teridentifikasi saat pengujian, khususnya senyawa tanin seperti katekin, EC, ECG, EGC, ECGC dan GC yang masih aktif berada pada sel daun (Yulia, 2006).

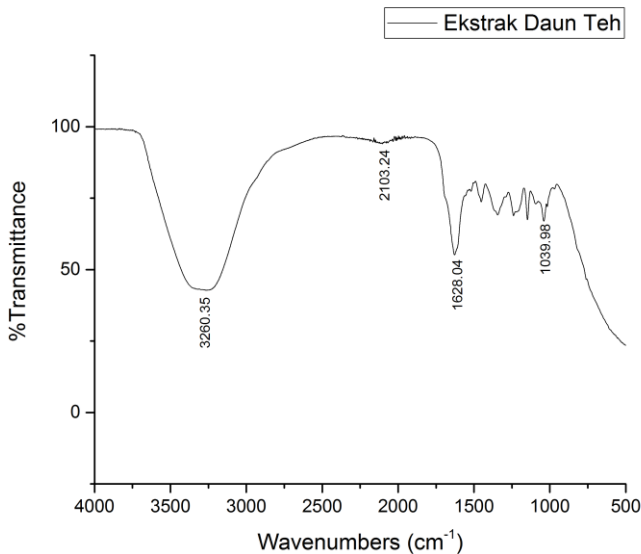
##### **4.1.2 Hasil Uji FTIR**

Ekstrak teh hijau dan baja yang telah dilakukan perendaman dianalisis dengan menggunakan FTIR untuk mengidentifikasi senyawa fungsional yang terkandung dalam ekstrak daun teh. Berikut adalah analisa dari masing-masing pengujian FTIR ekstrak daun teh dan baja dengan penambahan inhibitor pada kedua larutan tersebut. Analisis ini berdasarkan referensi "*A Handbook of Spectroscopic Data Chemistry*" oleh B.D. Mistry (2009).



#### 4.1.2.1 Hasil Uji FTIR pada Ekstrak Daun Teh (*Camellia sinensis*)

Pada penelitian sebelumnya dikatakan bahwa daun teh mengandung senyawa antioksidan yaitu katekin yang merupakan senyawa yang dipercaya dapat mengurangi laju korosi. Dimana katekin merupakan turunan dari tanin seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 2.7.2 tentang katekin. Berikut adalah analisis dari hasil FTIR dari ekstrak daun teh (*Camellia sinensis*) dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4.1** Hasil Uji FTIR ekstrak daun teh  
( *Camellia sinensis* )

Gambar 4.1 menunjukkan hasil dari pengujian FTIR yang dilakukan pada ekstrak daun teh (*Camellia sinensis* ) terdapat beberapa peak yang memiliki panjang gelombang yang dihubungkan dengan range pada referensi.



**Tabel 4.2** Hasil FTIR Ekstrak Daun Teh

| No | Wavelength<br>(cm <sup>-1</sup> ) | Daerah<br>Wavelength<br>(cm <sup>-1</sup> ) | Tipe Senyawa   | Gugus<br>Fungsi |
|----|-----------------------------------|---|--|-----------------|
| 1  | 3260.35                           | 3300-2500                                   | R-COOH,<br>bonded OH                                   | O-H str.        |
| 2  | 2103.24                           | 2140-2100                                   | Alkynes<br>(RC=CH)                                     | C=C str.        |
| 3  | 1628.04                           | 1640-1605                                   | Ketones (-CO-<br>CH <sub>2</sub> -CO / -CO-<br>C=C-OH) | C=O str.        |
| 4  | 1039.98                           | 1075-1000                                   | Alcohol and<br>phenols Primary<br>C-O-H                | C-O str.        |

Keterangan : str. = stretching

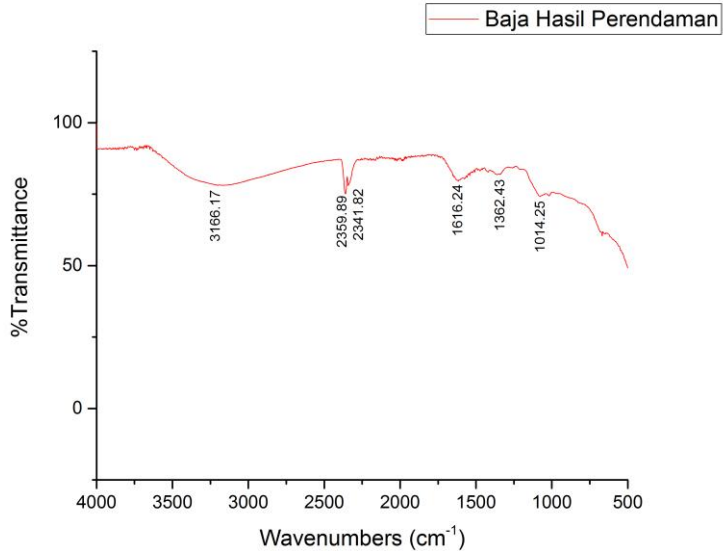
Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengujian FTIR dari ekstrak daun teh (*Camellia sinensis*). Adanya gugus fungsi O-H, C=O, C=C, C-O mengidentifikasi suatu senyawa katekin, seperti yang dilakukan oleh A.M Alsabagh pada penelitian sebelumnya sesuai dengan hasil spektrum infra merah, adanya gugus fungsi O-H, C-O, C=C aromatik yang mengkonfirmasi adanya senyawa katekin. Gugus fungsi ini diidentifikasi oleh banyak peneliti sebagai kelompok potensial anti korosi pada inhibitor korosi organik (Alsabagh, 2014). Adapun gugus O-H, C=O, C=C, dan C-O juga menunjukkan gugus tanin.

#### **4.1.2.2 Hasil Pengujian FTIR pada Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Ekstrak Daun Teh (*Camellia sinensis*) pada Lingkungan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**

Spektrum FTIR pada baja API 5L grade B dengan penambahan inhibitor ekstrak daun teh sebanyak 900 ppm ke dalam larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pH 3 didapatkan peak seperti pada Gambar 4.2 peak ini dihubungkan dengan range pada referensi sehingga



dapat diketahui senyawa yang terbentuk pada permukaan baja yang telah dilakukan perendaman selama 10 hari tersebut.



**Gambar 4.2** Hasil Uji FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Ekstrak Daun Teh (*Camellia sinensis*) 900 ppm pada Lingkungan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Dari Gambar 4.2 didapatkan beberapa peak. Peak ini masing-masing memiliki panjang gelombang yang dihubungkan dengan range pada referensi.

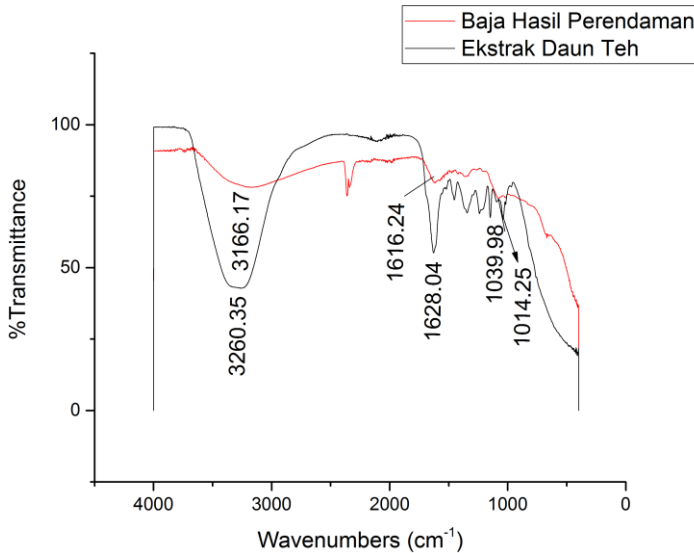


**Tabel 4.3** Hasil FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Ekstrak Daun Teh (*Camellia sinensis*) 900 ppm pada Lingkungan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

| No | Wavelength (cm <sup>-1</sup> ) | Daerah Wavelength (cm <sup>-1</sup> ) | Tipe Senyawa                                   | Gugus Fungsi         |
|----|--------------------------------|---------------------------------------|--|----------------------|
| 1  | 3166,17                        | 3300-2500                             | R-COOH, bonded OH                              | O-H str.             |
| 2  | 2359,89                        | 2500-2325                             | Charged amines (C=NH <sup>+</sup> )            | NH <sup>+</sup> str. |
| 3  | 2341,82                        | 2500-2325                             | Charged amines (C=NH <sup>+</sup> )            | NH <sup>+</sup> str. |
| 4  | 1616,24                        | 1640-1605                             | Ketones (-CO-CH <sub>2</sub> -CO / -CO-C=C-OH) | C=O str.             |
| 5  | 1362,43                        | 1370-1300                             | Aromatic nitro compounds                       | NO <sub>2</sub> str. |
| 6  | 1077,57                        | 1200-1050                             | Sulfur compounds                               | C=S str.             |
| 7  | 1014,25                        | 1075-1000                             | Alcohol and phenols<br>Primary C-O-H           | C-O str.             |



Tabel 4.3 menunjukkan hasil pengujian FTIR pada baja API 5L grade B dengan penambahan inhibitor ekstrak daun teh (*Camellia sinensis*) 900 ppm pada lingkungan  $H_2SO_4$ .



**Gambar 4.3** Hasil Uji FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Ekstrak Daun Teh dan Spektrum FTIR Ekstrak Daun Teh

Pada Gambar 4.3 terlihat bahwa ada beberapa peak dari baja API 5L Grade B dengan ekstrak daun teh yang memiliki spektrum yang hampir sama. Beberapa spektrum yang sama tersebut menunjukkan adanya absorpsi permukaan baja terhadap inhibitor.





**Tabel 4.4** Perbandingan Hasil FTIR Baja API 5L Grade B dengan Ekstrak Daun Teh

| No | Inhibitor Ekstrak Daun Teh | Baja API 5L Grade B | Daerah Wavelength (cm <sup>-1</sup> ) | Tipe Senyawa                                   | Gugus Fungsi         |
|----|----------------------------|---------------------|---------------------------------------|--|----------------------|
| 1  | 3260,35                    | 3166,17             | 3300-2500                             | R-COOH, bonded OH                              | O-H str.             |
| 2  |                            | 2359,89             | 2500-2325                             | Charged amines (C=NH <sup>+</sup> )            | NH <sup>+</sup> str. |
| 3  |                            | 2341,82             | 2500-2325                             | Charged amines (C=NH <sup>+</sup> )            | NH <sup>+</sup> str. |
| 4  | 2103,24                    |                     | 2140-2100                             | Alkynes (RC≡CH)                                | C≡C str.             |
| 5  | 1628,04                    | 1616,24             | 1640-1605                             | Ketones (-CO-CH <sub>2</sub> -CO / -CO-C≡C-OH) | C=O str.             |
| 6  |                            | 1362,43             | 1370-1300                             | Aromatic nitro compounds                       | NO <sub>2</sub> str. |
| 7  |                            | 1077,57             | 1200-1050                             | Sulfur compounds                               | C=S str.             |
| 8  | 1039,98                    | 1014,25             | 1075-1000                             | Alcohol and phenols Primary C-O-H              | C-O str.             |

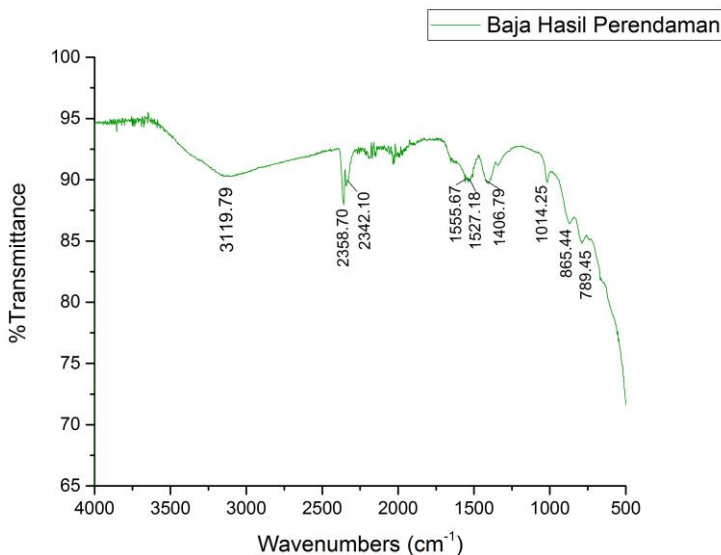
Dari Tabel 4.4 diperoleh gugus fungsi O-H, C=O, dan C-O terdapat pada kedua spektrum, dimana gugus fungsi O-H, C=O, dan C-O merupakan gugus fungsi tanin. Sehingga hal ini



menunjukkan bahwa inhibitor ekstrak daun teradsorpsi dipermukaan baja API 5L Grade B.

#### 4.1.2.3 Hasil Pengujian FTIR pada Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Ekstrak Daun Teh (*Camellia sinensis*) pada Lingkungan $\text{CH}_3\text{COOH}$

Spektrum FTIR pada baja API 5L grade B dengan penambahan inhibitor ekstrak daun teh sebanyak 900 ppm ke dalam larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 3 didapatkan peak seperti pada Gambar 4.4. peak ini dihubungkan dengan range pada referensi sehingga dapat diketahui senyawa yang terbentuk pada permukaan baja yang telah dilakukan perendaman selama 10 hari tersebut.



**Gambar 4.4** Hasil Uji FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Ekstrak Daun Teh (*Camellia sinensis*) 900 ppm pada Lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$



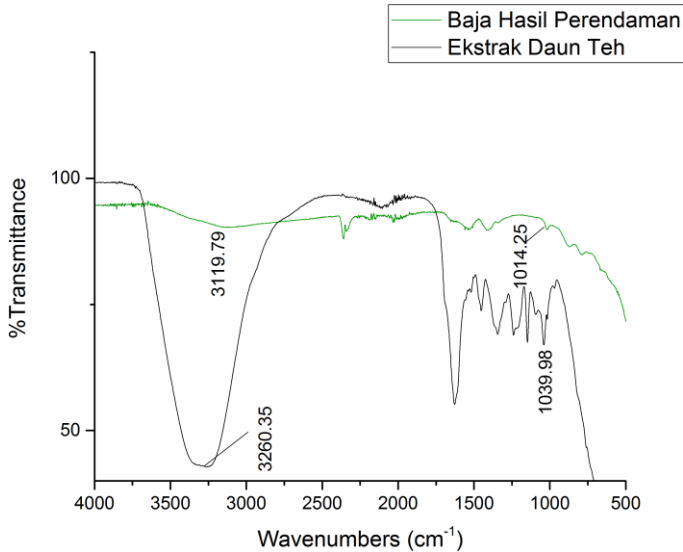
Dari Gambar 4.4 didapatkan beberapa peak. Peak ini masing-masing memiliki panjang gelombang yang dihubungkan dengan range pada referensi.

**Tabel 4.5** Hasil FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Ekstrak Daun Teh (*Camellia sinensis*) 900 ppm pada Lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$

| No | Wavelength<br>( $\text{cm}^{-1}$ ) | Daerah<br>Wavelength<br>( $\text{cm}^{-1}$ ) | Tipe Senyawa   | Gugus<br>Fungsi    |
|----|------------------------------------|--|--|--------------------|
| 1  | 3119.79                            | 3300-2500                                    | R-COOH,<br>bonded OH                                 | O-H str.           |
| 2  | 2358.70                            | 2500-2325                                    | Charged<br>amines<br>( $\text{C}=\text{NH}^+$ )      | $\text{NH}^+$ str. |
| 3  | 2342.10                            | 2500-2325                                    | Charged<br>amines<br>( $\text{C}=\text{NH}^+$ )      | $\text{NH}^+$ str. |
| 4  | 1555.67                            | 1565-1545                                    | Prim. and sec.<br>nitro<br>compounds                 | $\text{NO}_2$ str. |
| 5  | 1527.18                            | 1530-1510                                    | $\alpha,\beta$ -unsat, nitro<br>compounds            | $\text{NO}_2$ str. |
| 6  | 1406.79                            | 1410-1310                                    | Phenols, tert.<br>alcohols                           | O-H def.           |
| 7  | 1014.25                            | 1075-1000                                    | Alcohol and<br>phenols<br>Primary C-O-H              | C-O str.           |
| 8  | 865.44                             | 870-800                                      | Benzene ring<br>containing to<br>adjacent H<br>atoms | C-H def.           |
| 9  | 789.45                             | 840-790                                      | Trisubstituted<br>Alkenes                            | C-H def.           |



Tabel 4.5 menunjukkan hasil pengujian FTIR pada baja API 5L grade B dengan penambahan ekstrak daun teh (*Camellia sinensis*) 900 ppm pada lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .



**Gambar 4.5** Hasil Uji FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Ekstrak Daun Teh dan Spektrum FTIR Ekstrak Daun Teh

Pada Gambar 4.5 terlihat bahwa ada beberapa peak dari baja API 5L Grade B dengan ekstrak daun teh yang memiliki spektrum yang hampir sama. Beberapa spektrum yang sama tersebut menunjukkan adanya absorpsi permukaan baja terhadap inhibitor.

**Tabel 4.6** Perbandingan Hasil FTIR Baja API 5L Grade B dengan Ekstrak Daun Teh

| No | Inhibitor | Baja Api 5L | Daerah Wavelength ( $\text{cm}^{-1}$ ) | Tipe Senyawa | Gugus Fungsional |
|----|-----------|-------------|--|--------------|------------------|
|    |           |             |  |              |                  |

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



|    | Ekstrak Daun Teh | Grade B |           |  |                      |
|----|------------------|---------|-----------|--|----------------------|
| 1  | 3260.35          | 3119.79 | 3300-2500 | R-COOH, bonded OH                              | O-H str.             |
| 2  |                  | 2358.70 | 2500-2325 | Charged amines (C=NH <sup>+</sup> )            | NH <sup>+</sup> str. |
| 3  |                  | 2342.10 | 2500-2325 | Charged amines (C=NH <sup>+</sup> )            | NH <sup>+</sup> str. |
| 4  | 2103.24          |         | 2140-2100 | Alkynes (RC=CH)                                | C=C str.             |
| 5  | 1628.04          |         | 1640-1605 | Ketones (-CO-CH <sub>2</sub> -CO / -CO-C=C-OH) | C=O str.             |
| 6  |                  | 1555.67 | 1565-1545 | Prim. and sec. nitro compounds                 | NO <sub>2</sub> str. |
| 7  |                  | 1527.18 | 1530-1510 | α,β-unsat, nitro compounds                     | NO <sub>2</sub> str. |
| 8  |                  | 1406.79 | 1410-1310 | Phenols, tert. alcohols                        | O-H def              |
| 9  | 1039.98          | 1014.25 | 1075-1000 | Alcohol and phenols Primary C-O-H              | C-O str.             |
| 10 |                  | 865.44  | 870-800   | Benzene ring containing to adjacent H atoms    | C-H def.             |
| 11 |                  | 789.45  | 840-790   | Trisubstitiated Alkenes                        | C-H def.             |

#### BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

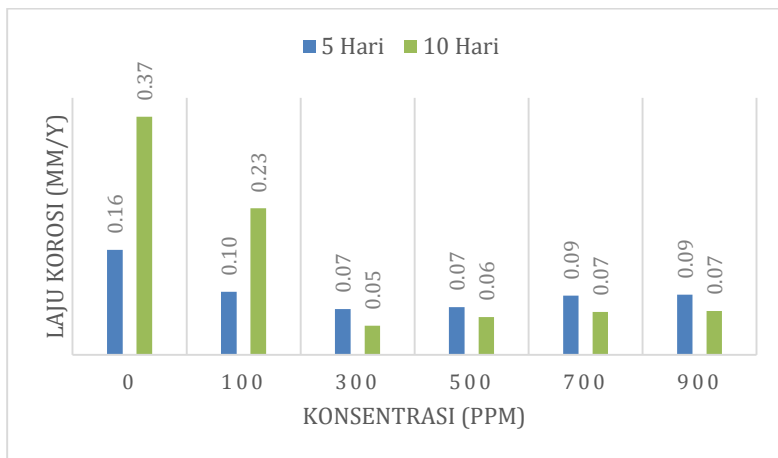


Dari Tabel 4.6 diperoleh gugus fungsi O-H dan C-O terdapat pada kedua spektrum, dimana gugus fungsi O-H dan C-O merupakan gugus fungsi tanin. Sehingga hal ini menunjukkan bahwa inhibitor ekstrak daun teradsorpsi dipermukaan baja API 5L Grade B.

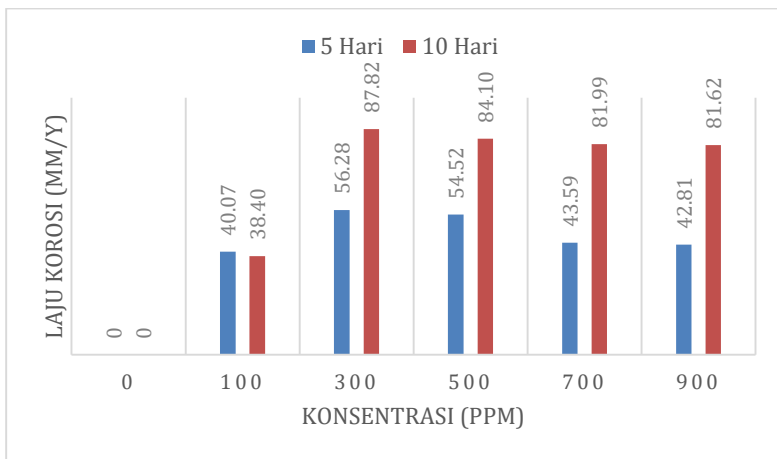
### 4.1.3 Hasil Pengujian *Weight Loss*

#### 4.1.3.1 Hasil Uji *Weight Loss* pada Lingkungan $H_2SO_4$

Pada pengujian *weight loss* dengan cara menambahkan inhibitor daun teh masing masing sebanyak 0, 100, 300, 500, 700, dan 900 ppm pada lingkungan  $H_2SO_4$ , maka diperoleh grafik laju korosi serta efisiensi inhibisi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 dan 4.7



**Gambar 4.6** Grafik Laju Korosi Inhibitor Daun Teh (*Camellia sinensis*) terhadap Baja API 5L Grade B pada Lingkungan  $H_2SO_4$



**Gambar 4.7** Grafik Efisiensi Inhibisi Inhibitor Daun Teh (*Camellia sinensis*) terhadap Baja API 5L Grade B pada Lingkungan  $H_2SO_4$

Pada Gambar 4.6 mengenai pengaruh konsentrasi inhibitor daun teh (*Camellia sinensis*) terhadap laju korosi. Adapun pengambilan data dilakukan dengan interval waktu 5 hari.

Pada pengambilan data hari ke-5, laju korosi terendah adalah 0,07 mm/y dengan konsentrasi 300 ppm. Pada pengambilan data hari ke-10, laju korosi terendah adalah 0,05 mm/y dengan konsentrasi 300 ppm. Dapat disimpulkan bahwa laju korosi terendah didapat pada konsentrasi inhibitor sebesar 300 ppm dengan lama perendaman 10 hari.

Pada Gambar 4.7 Mengenai pengaruh konsentrasi inhibitor daun teh (*Camellia sinensis*) terhadap efisiensi inhibisi terlihat bahwa inhibitor daun teh bekerja optimal pada saat konsentrasi 300 ppm dalam lingkungan  $H_2SO_4$  pH 3. Penambahan konsentrasi inhibitor yang dilakukan diatas 300 ppm mengurangi efisiensi inhibitor. Pada pengambilan data hari ke-5, efisiensi inhibisi terbesar adalah 56,28% dengan konsentrasi inhibitor sebesar 300 ppm. Pada pengambilan data hari ke-10, efisiensi inhibisi terbesar



adalah 87,82% dengan konsentrasi inhibitor sebesar 300 ppm. Dapat disimpulkan efisiensi inhibisi tertinggi terletak pada penambahan konsentrasi inhibitor 300 ppm dengan lama perendaman 10 hari.

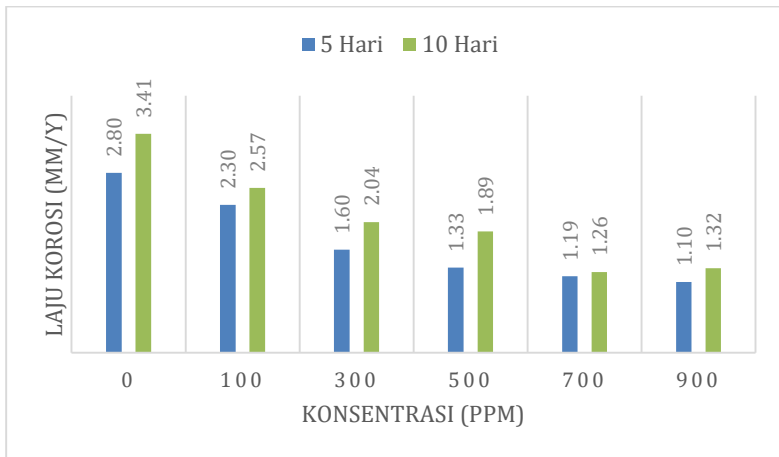
Pada Gambar 4.6 memperlihatkan adanya penurunan laju korosi. Hal ini dapat dikarenakan kandungan senyawa antioksidan yang terdapat dalam inhibitor ekstrak daun teh yang dipercaya berperan sebagai penghambat laju korosi. Pada grafik tersebut juga terlihat bahwa laju korosi selama interval 5 hari mengalami kenaikan dan penurunan dikarenakan antioksidan belum bekerja secara optimal dalam memproteksi baja. Inhibitor ekstrak daun teh bekerja optimal pada saat perendaman hari ke-10 pada konsentrasi inhibitor 300 ppm.

Pada Gambar 4.7 terlihat bahwa efisiensi inhibisinya optimal pada konsentrasi 300 ppm dan berangsur-angsur menurun pada konsentrasi lebih dari 300 ppm.

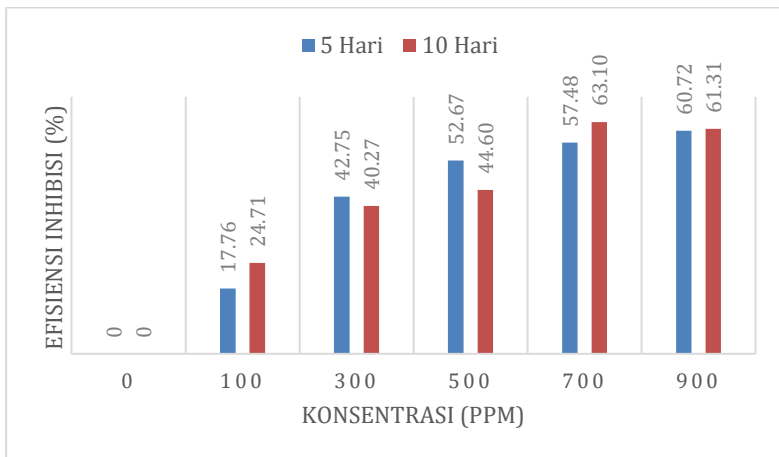
#### **4.1.3.2 Hasil Uji *Weight Loss* pada Lingkungan $\text{CH}_3\text{COOH}$**

Pada pengujian *weight loss* dengan cara menambahkan inhibitor daun teh masing masing sebanyak 0, 100, 300, 500, 700, dan 900 ppm dalam lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , maka diperoleh grafik laju korosi serta efisiensi inhibisi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 Dan 4.9





**Gambar 4.8** Grafik Laju Korosi Inhibitor Daun Teh (*Camellia sinensis*) terhadap Baja API 5L Grade B pada Lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$



**Gambar 4.9** Grafik Efisiensi Inhibisi Inhibitor Daun Teh (*Camellia sinensis*) terhadap Baja API 5L Grade B pada Lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$



Pada Gambar 4.8 mengenai pengaruh konsentrasi inhibitor daun teh terhadap laju korosi baja dalam lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  terlihat bahwa penambahan inhibitor dapat menurunkan laju korosi. Adapun pengambilan data dilakukan dengan interval waktu 5 hari.

Pada pengambilan data hari ke-5, laju korosi terendah adalah 1,10 mm/y dengan konsentrasi inhibitor 900 ppm. Pada pengambilan data hari ke-10, laju korosi terendah adalah 1,26 mm/y dengan konsentrasi inhibitor 700 ppm. Dapat disimpulkan bahwa laju korosi terendah terletak pada penambahan konsentrasi inhibitor sebesar 900 ppm dengan lama waktu perendaman 5 hari.

Pada Gambar 4.9 mengenai pengaruh konsentrasi inhibitor daun teh terhadap efisiensi inhibisi baja API 5L Grade B pada lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Pengambilan data dilakukan dengan interval 5 hari.

Pada pengambilan data hari ke-5, efisiensi inhibisi terbesar adalah 60,72% dengan konsentrasi 900 ppm. Pada pengambilan data hari ke-10, efisiensi inhibisi adalah sebesar 63,10% dengan konsentrasi 700 ppm. Dapat disimpulkan bahwa efisiensi tertinggi terletak pada penambahan konsentrasi inhibitor 700 ppm selama 10 hari.

Pada Gambar 4.8 memperlihatkan adanya penurunan laju korosi. Hal ini dapat dikarenakan kandungan senyawa antioksidan yang terdapat dalam inhibitor ekstrak daun teh yang dipercaya berperan sebagai penghambat laju korosi. Pada grafik tersebut juga terlihat bahwa laju korosi selama interval 5 hari mengalami kenaikan dan penurunan dikarenakan antioksidan belum bekerja secara optimal dalam memproteksi baja. Inhibitor ekstrak daun teh bekerja optimal pada saat perendaman hari ke-10 pada konsentrasi inhibitor 700 ppm.

Pada Gambar 4.9 terlihat bahwa efisiensi inhibisinya stabil pada konsentrasi 700 ppm dan tidak berubah signifikan pada konsentrasi lebih dari 700 ppm pada kondisi perendaman 10 hari.

---

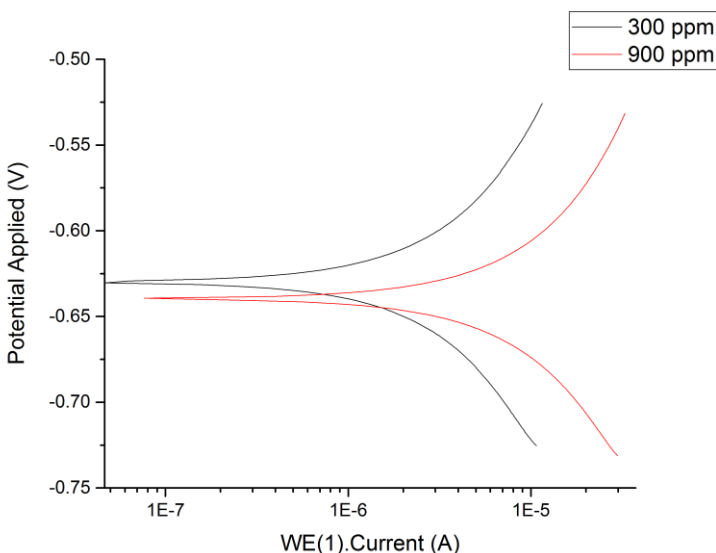
## **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**



Sedangkan pada perendalam 5 hari pada 900 terlihat peningkatan laju korosi.

#### 4.1.4 Hasil Pengujian Tafel

Pengujian polarisasi tafel ini dilakukan pada hasil pengujian *weight loss* pada hasil efisiensi inhibisi tertinggi dan pada konsentrasi tertinggi pada masing-masing larutan. Dalam larutan  $H_2SO_4$  digunakan inhibitor ekstrak daun teh dengan konsentrasi 300 ppm dan untuk larutan  $CH_3COOH$  digunakan 700 ppm. Dari hasil pengujian didapatkan kurva potensial tafel yang disajikan dalam kurva E (potensial) berbanding dengan log (i).



**Gambar 4.10** Perbandingan Kurva Tafel pada Konsentrasi Inhibitor 300 ppm dan 900 ppm dalam Lingkungan  $H_2SO_4$

Dari kurva tafel pada Gambar 4.10 didapatkan hasil analisa tafel seperti pada Tabel 4.7.

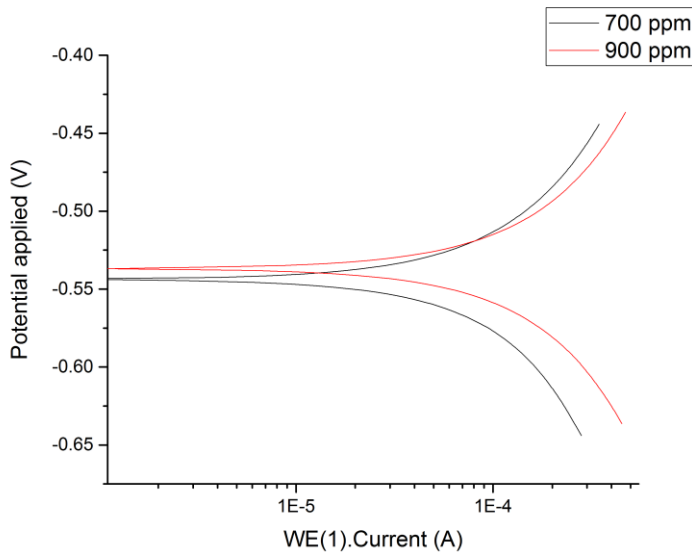


**Tabel 4.7** Tabel Analisa Tafel dengan Konsentrasi Inhibitor 300 ppm dan 900 ppm dalam Lingkungan  $H_2SO_4$

| Konsentrasi<br>(ppm) | $b_a$<br>(mV/dec) | $b_c$<br>(mV/dec) | $E_{corr}$<br>(mV) | $I_{corr}$<br>( $\mu A/cm^2$ ) | CR<br>(mm/y) |
|----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------------------|--------------|
| 300<br>(5 Hari)      | 497.74            | 385.64            | -630.62            | 5.1803                         | 0.060        |
| 900<br>(10 Hari)     | 565.31            | 458.97            | -638.98            | 17.4090                        | 0.202        |

Tabel 4.7 menunjukkan bahwa penambahan inhibitor ekstrak daun teh pada baja API 5L Grade B menurunkan laju korosi. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian *weight loss* dimana inhibitor ekstrak daun teh dengan konsentrasi 300 ppm menghasilkan laju korosi yang lebih rendah dibandingkan dengan 900 ppm.

Mekasnisme kerja inhibitor dapat dianalisis dengan melihat perubahan  $E_{corr}$ . Penambahan inhibitor ekstrak daun teh dengan konsentrasi 300 ppm menghasilkan nilai  $I_{corr}$  pada konsentrasi 300 ppm lebih rendah bila dibandingkan dengan pada konsentrasi 900 ppm dimana terdapat selisih sebesar 12.228  $\mu A/cm^2$ .



**Gambar 4.11** Perbandingan Kurva Tafel pada Konsentrasi Inhibitor 700 ppm dan 900 ppm dalam Lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$

Dari kurva tafel pada Gambar 4.11 didapatkan hasil analisa tafel seperti pada Tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Tabel Analisa Tafel dengan Konsentrasi Inhibitor 300 ppm dan 900 ppm dalam Lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$

| Konsentrasi (ppm) | $b_a$ (mV/dec) | $b_c$ (mV/dec) | $E_{\text{corr}}$ (mV) | $I_{\text{corr}}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) | CR (mm/y) |
|-------------------|----------------|----------------|------------------------|---|-----------|
| 700 (5 Hari)      | 487.17         | 286.22         | -542.92                | 126.810   | 1.473     |
| 900 (10 Hari)     | 370.580        | 344.410        | -537.23                | 203.860   | 2.368     |

Sedangkan pada hasil pengujian tafel dalam lingkungan asam didapatkan bahwa pada konsentrasi 700 ppm laju korosi lebih



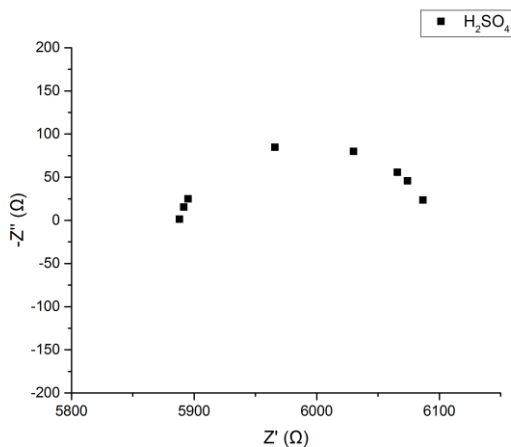
rendah dibandingkan dengan pada konsentrasi 900 ppm. Dari hasil pengujian ini dapat dilihat bahwa  $I_{\text{corr}}$  pada konsentrasi 700 ppm lebih rendah bila dibandingkan dengan 900 ppm. Hasil pengujian tafel dibandingkan dengan hasil pengujian *weight loss* seperti pada Tabel 4.9.

**Tabel 4.9** Perbandingan Laju Korosi Metode Tafel dengan Weight Loss

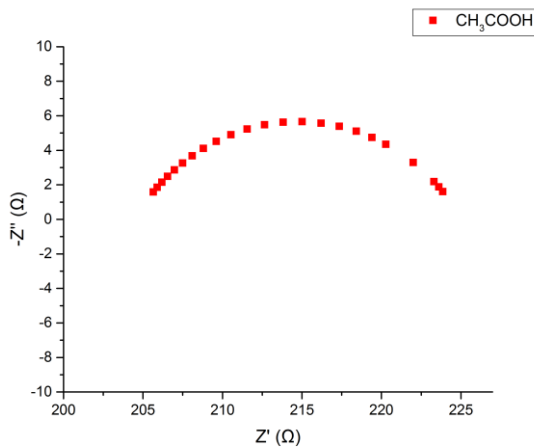
| Konsentrasi | Larutan                        | Laju Korosi (mm/y) |             | Lama Perendaman (Hari) |
|-------------|--------------------------------|--------------------|-------------|------------------------|
|             |                                | Polarisasi Tafel   | Weight loss |                        |
| 300         | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 0.060              | 0.07        | 5 Hari                 |
| 900         | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 0.202              | 0.07        | 10 Hari                |
| 700         | CH <sub>3</sub> COOH           | 1.473              | 1.19        | 5 Hari                 |
| 900         | CH <sub>3</sub> COOH           | 2.368              | 1.32        | 10 Hari                |

#### 4.1.5 Hasil Pengujian EIS

Pengujian EIS dilakukan untuk mengetahui mekanisme inhibisi yang terjadi pada inhibitor ekstrak daun teh pada spesimen baja API 5L Grade B dalam lingkungan CH<sub>3</sub>COOH dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Mekanisme inhibisi dijelaskan pada parameter-parameter elektrokimia yang berupa rangkaian listrik yang disebut juga *equivalent circuit*. Rangkaian listrik (*equivalent circuit*) dihasilkan dari grafik Nyquist.



**Gambar 4.12** Kurva Nyquist untuk Sampel Inhibitor 300 ppm  $\text{H}_2\text{SO}_4$



**Gambar 4.13** Kurva Nyquist untuk Sampel Inhibitor 700 ppm  $\text{CH}_3\text{COOH}$

Hasil pengujian EIS pada lingkungan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan penambahan inhibitor sebesar 300 ppm pada



$\text{H}_2\text{SO}_4$  dan 700 ppm pada  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Diameter kurva Nyquist mempresentasikan nilai tahanan transfer ( $R_{ct}$ ) dari sistem, dimana semakin besar/lebar diameter kurva maka nilai tahanan transfer muatan ( $R_{ct}$ ) semakin besar. Nilai  $R_{ct}$  yang tinggi berbanding terbalik dengan nilai laju korosi, sehingga didapatkan nilai laju korosi yang lebih rendah (Yttria, 2014).

**Tabel 4.10** Model Rangkaian Listrik Hasil Pengujian EIS

| Identifikasi  | Equivalent Circuit |
|---|--------------------|
| Penambahan Inhibitor 300 ppm pada lingkungan $\text{H}_2\text{SO}_4$  |                    |
| Penambahan Inhibitor 700 ppm pada lingkungan $\text{CH}_3\text{COOH}$ |                    |

**Tabel 4.11** Data *Equivalent Circuit* Inhibitor Ekstrak Daun Teh

| Konsentrasi (ppm) | $R_s$ (mΩ) | $R_p$ (mΩ) | CPE       |         |
|-------------------|------------|------------|-----------|---------|
|                   |            |            | Y0 (mMho) | N       |
| 300               | 5887.9     | 205.34     | 0.79647   | 0.90033 |
| 700               | 1401.8     | 123.71     | 1.9416    | 0.63887 |

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN





Tabel 4.10 memperlihatkan hasil parameter-parameter elektrokimia yang dihasilkan dari fitting EIS dengan menggunakan software NOVA. Sedangkan pada Tabel 4.11 menunjukkan hasil rangkaian listrik dimana diawali dengan adanya tahanan larutan ( $R_s$ ) dimana nilai tahanan dihasilkan oleh larutan bantu dan elektroda kerja kemudian diikuti dengan adanya tahanan polarisasi ( $R_p$ ) dan CPE. Dimana  $R_p$  menggambarkan tahanan polarisasi yang terjadi antarmuka logam berinteraksi dengan larutan elektrolit dan terjadi pelarutan ion-ion.  $R_p$  yang besar mewakili adanya perpindahan muatan pada antar muka logam dengan larutan. Hal tersebut karena nilai  $R_p$  sebanding dengan nilai tahanan transfer muatan ( $R_{ct}$ ). Jadi dengan besarnya nilai  $R_p$  menunjukkan terbentuknya lapisan tipis di permukaan logam. Lapisan ini mengakibatkan pergerakan ion dari elektrolit terhambat (Villamel, 2002). Semakin banyak lapisan yang terbentuk maka nilai  $R_{ct}$  semakin besar.

CPE (*constant phase element*) digunakan sebagai model kapasitansi *double layer* (Cdl) untuk mengkompensasi adanya ketidakhomogenan permukaan. Permukaan logam yang kasar atau berpori dapat menyebabkan kapasitansi double layer (Cdl) hadir sebagai CPE (Yttria, 2014). *Constant phase element* dengan nilai  $N = 1$ , bertingak sebagai kapasitor murni, dimana permukaan elektroda . logam yang homogen (bebas dari cacat) menghasilkan nilai  $N = 1$ . Semakin kecil nilai Cdl meningkatkan ketebalan dari *electrical double layer* yang menyebabkan penurunan laju korosi dikarenakan adsorpsi molekul pelapis pada permukaan logam, yang mencegah molekul larutan agresif berkontak langsung dengan permukaan logam (Surakusumah, 2014).

Bila dibandingkan dalam kedua data dimana konsentrasi 300 ppm dalam lingkungan  $H_2SO_4$  dan konsentrasi 700 ppm dalam lingkungan  $CH_3COOH$  dihasilkan  $R_p$  pada konsentrasi lingkungan  $H_2SO_4$  lebih besar dimana dapat disimpulkan bahwa dalam lingkungan  $H_2SO_4$  lapisan yang terbentuk lebih banyak dibandingkan dengan 700 ppm pada lingkungan  $CH_3COOH$  dimana  $R_p$  yang didapat lebih kecil. Sedangkan nilai Cdl pada



lingkungan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  lebih kecil dibandingkan dengan yang didapat pada lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , sehingga kemampuan dalam memproteksi korosi lebih tinggi pada lingkungan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  karena laku korosi yang dihasilkan akibat tebalnya *electrical double layer* akan semakin rendah. Hal ini berbanding lurus dengan hasil pengujian *weight loss* maupun tafel polarisasi dimana inhibitor ekstrak daun teh dapat membentuk lapisan pasif pada permukaan baja lebih baik pada lingkungan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

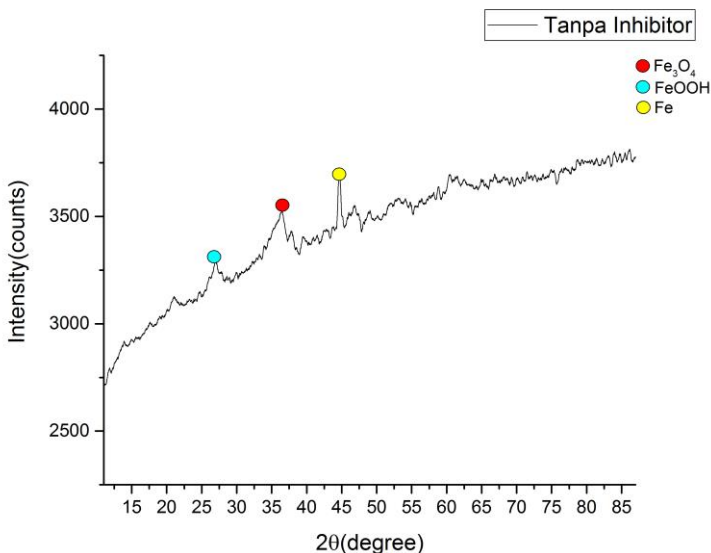
#### 4.1.6 Hasil Pengujian XRD

Pengujian XRD (X-Ray Diffraction) dilakukan pada spesimen yang telah dilakukan perendaman selama 10 hari baik dengan penambahan inhibitor sebesar 900 ppm maupun tanpa inhibitor pada lingkungan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Dimana hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan *software* Jade dan pencocokan *PDF Card* untuk menentukan fasa yang terjadi pada spesimen tersebut.



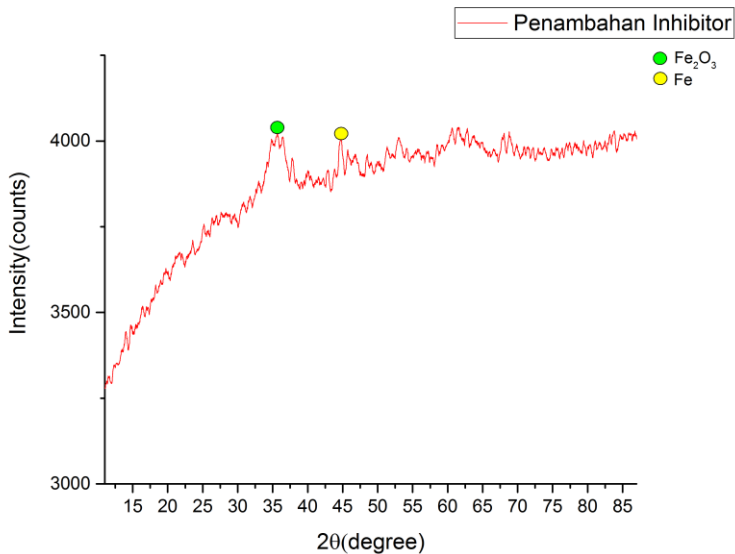
#### 4.1.6.1 Hasil Pengujian XRD pada Spesimen dalam Lingkungan $H_2SO_4$

Hasil pengujian XRD pada spesimen baja API 5L grade B dalam lingkungan  $H_2SO_4$  tanpa penambahan inhibitor dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan hasil uji XRD pada spesimen baja API 5L grade B dalam lingkungan  $H_2SO_4$  dengan penambahan inhibitor ekstrak daun teh sebesar 900 ppm dapat dilihat pada Gambar 4.15.



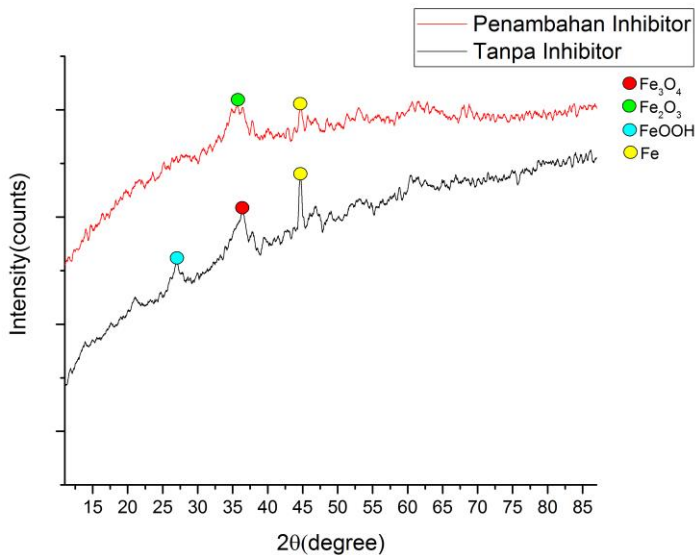
**Gambar 4.14** Hasil Uji XRD pada Permukaan Baja API 5L Grade B Tanpa Penambahan Inhibitor pada Lingkungan  $H_2SO_4$

Pada hasil pengujian XRD dapat dilihat pada Gambar 4.14 dimana ditemukan puncak yang diidentifikasi sebagai senyawa  $FeOOH$ ,  $Fe_3O_4$ , dan Fe. Puncak tertinggi yang didapat merupakan Fe, sementara  $FeOOH$  dan  $Fe_3O_4$  ditemukan puncak dengan intensitas yang rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa produk korosi terbentuk dan mengendap pada permukaan baja API 5L grade B.



**Gambar 4.15** Hasil Uji XRD pada Permukaan Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor pada Lingkungan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Pada Gambar 4.15 dapat dilihat hasil dari pengujian XRD dengan penambahan inhibitor sebesar 900 ppm. Pada hasil pengujian didapatkan senyawa FeOOH dan Fe. Dimana puncak tertinggi yang didapatkan adalah Fe.



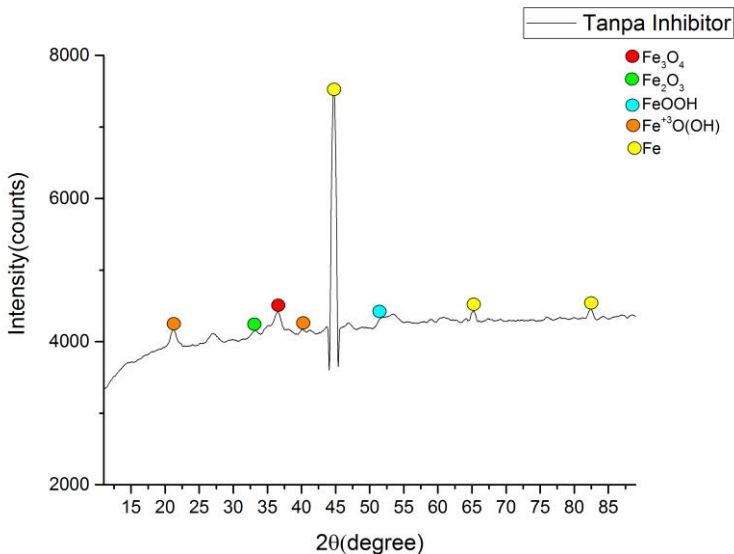
**Gambar 4.16** Perbandingan Hasil Pengujian XRD pada Baja API 5L Grade B

Pada Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa adanya kesamaan dari puncak yang didapatkan. Didapatkannya Fe pada puncak tertinggi adalah dikarenakan Fe adalah senyawa dari spesimen baja itu sendiri, sementara  $\text{Fe}_3\text{O}_2$  merupakan produk korosi yang mengendap pada spesimen. Sementara  $\text{FeOOH}$  tidak didapatkan kembali pada saat pengujian terhadap baja dengan penambahan inhibitor ekstrak daun teh. Di duga bahwa  $\text{FeOOH}$  yang juga merupakan hasil korosi tidak terbentuk akibat adanya aktivitas antioksidan dari inhibitor ekstrak daun teh.



#### 4.1.6.2 Hasil Pengujian XRD pada Spesimen dalam Lingkungan $\text{CH}_3\text{COOH}$

Hasil pengujian XRD pada spesimen baja API 5L grade B dalam lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  tanpa penambahan inhibitor dapat dilihat pada Gambar 4.17 dan hasil uji XRD pada spesimen baja API 5L grade B dalam lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan penambahan inhibitor ekstrak daun teh sebesar 900 ppm dapat dilihat pada Gambar 4.18.



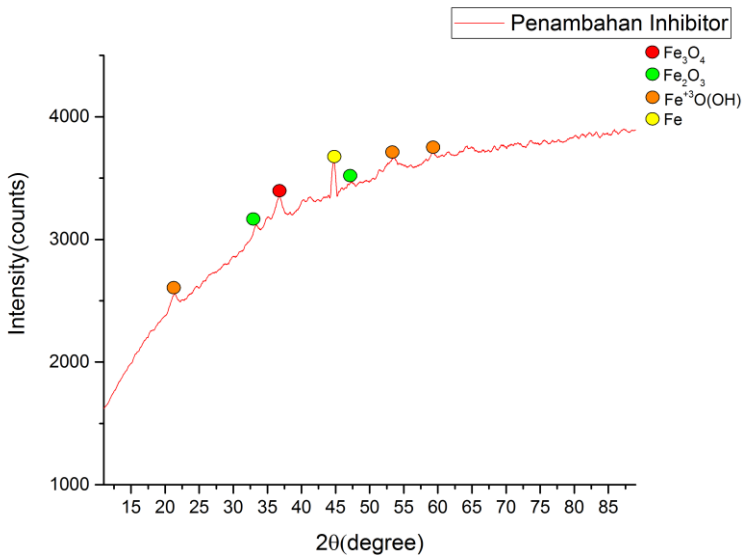
**Gambar 4.17** Hasil Uji XRD pada Permukaan Baja API 5L Grade B Tanpa Penambahan Inhibitor pada Lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$

Pada hasil pengujian XRD dapat dilihat pada Gambar 4.17 dimana ditemukan puncak yang diidentifikasi sebagai senyawa  $\text{Fe}^{+3}(\text{OH})$ ,  $\text{FeOOH}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan  $\text{Fe}$ . Puncak tertinggi yang didapat merupakan  $\text{Fe}$ . Sementara  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan  $\text{Fe}^{+3}\text{O}(\text{OH})$  ditemukan pada intensitas yang cukup tinggi, dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

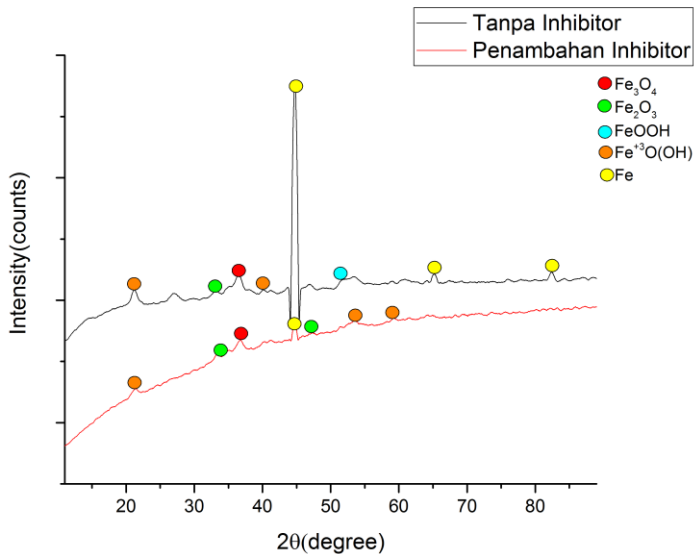


FeOOH ditemukan puncak dengan intensitas yang rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa produk korosi terbentuk dan mengendap pada permukaan baja API 5L grade B.



**Gambar 4.18** Hasil Uji XRD pada Permukaan Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor pada Lingkungan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Pada Gambar 4.18 dapat dilihat hasil dari pengujian XRD dengan penambahan inhibitor sebesar 900 ppm. Pada hasil pengujian didapatkan senyawa Fe<sup>+3</sup>(OH), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan Fe. Dimana puncak tertinggi yang didapatkan adalah Fe.



**Gambar 4.19** Perbandingan Hasil Pengujian XRD pada Baja API 5L Grade B

Pada Gambar 4.19 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan senyawa yang teridentifikasi. Dimana senyawa tunggal Fe teridentifikasi pada puncak tertinggi dari kedua hasil pengujian baik dengan atau tanpa penambahan inhibitor. Sementara  $\text{Fe}^{+3}(\text{OH})$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang merupakan produk korosi yang mengendap pada spesimen ditemukan pada kedua hasil pengujian dengan intensitas rendah.

#### 4.1.7 Perhitungan Adsorpsi Isothermal

Perhitungan adsorpsi isothermal langmuir ini digunakan untuk menjelaskan sifat adsorpsi pada kesetimbangan. Sifat adsorpsi dari masing-masing inhibitor diuji dengan menggunakan persamaan langmuir yang telah dijelaskan pada sub bab 2.7. Nilai energi bebas adsorpsi dalam lingkungan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan lama perendaman 5 dan 10 hari dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan 4.13.

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN





**Tabel 4.12** Energi Bebas Adsorpsi pada Inhibitor Ekstrak Daun Teh di Lingkungan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pH 3 dengan masa perendaman 5 hari

| Konsentrasi (mg/L) | Surface Coverage ( $\theta$ ) | $K_{\text{ads}}$ | $\Delta G^\circ$ (kJ/mol) |
|--------------------|-------------------------------|------------------|---------------------------|
| 100                | 0.401                         | 0.007            | -8.161                    |
| 300                | 0.563                         | 0.004            | -9.260                    |
| 500                | 0.545                         | 0.002            | -10.702                   |
| 700                | 0.436                         | 0.001            | -12.623                   |
| 900                | 0.428                         | 0.001            | -13.325                   |

**Tabel 4.13** Energi Bebas Adsorpsi pada Inhibitor Ekstrak Daun Teh di Lingkungan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pH 3 dengan masa perendaman 10 hari

| Konsentrasi (mg/L) | Surface Coverage ( $\theta$ ) | $K_{\text{ads}}$ | $\Delta G^\circ$ (kJ/mol) |
|--------------------|-------------------------------|------------------|---------------------------|
| 100                | 0.384                         | 0.006            | -8.334                    |
| 300                | 0.878                         | 0.024            | -4.991                    |
| 500                | 0.841                         | 0.011            | -7.025                    |
| 700                | 0.820                         | 0.007            | -8.229                    |
| 900                | 0.816                         | 0.005            | -8.914                    |

Sementara nilai energi bebas adsorpsi inhibitor ekstrak daun teh dalam lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 3 dengan lama perendaman 5 dan 10 hari dapat dilihat pada Tabel 4.14 dan 4.15

**Tabel 4.14** Energi Bebas Adsorpsi pada Inhibitor Ekstrak Daun Teh di Lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 3 dengan masa perendaman 5 hari

| Konsentrasi (mg/L) | Surface Coverage ( $\theta$ ) | $K_{\text{ads}}$ | $\Delta G^\circ$ (kJ/mol) |
|--------------------|-------------------------------|------------------|---------------------------|
| 100                | 0.178                         | 0.002            | -10.960                   |
| 300                | 0.428                         | 0.002            | -10.609                   |
| 500                | 0.527                         | 0.002            | -10.886                   |
| 700                | 0.575                         | 0.002            | -11.238                   |
| 900                | 0.607                         | 0.002            | -11.528                   |



**Tabel 4.15** Energi Bebas Adsorpsi pada Inhibitor Ekstrak Daun Teh di Lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 3 dengan masa perendaman 10 hari

| Konsentrasi<br>(mg/L) | Surface<br>Coverage ( $\theta$ ) | $K_{\text{ads}}$ | $\Delta G^\circ$<br>(kJ/mol) |
|-----------------------|----------------------------------|------------------|------------------------------|
| 100                   | 0.384                            | 0.006            | -8.334                       |
| 300                   | 0.878                            | 0.024            | -4.991                       |
| 500                   | 0.841                            | 0.011            | -7.025                       |
| 700                   | 0.820                            | 0.007            | -8.229                       |
| 900                   | 0.816                            | 0.005            | -8.914                       |

Berdasarkan nilai dari  $\Delta G_{\text{ads}}$  metode adsorpsi pada permukaan baja dapat diketahui. Menurut Singh pada tahun 2012 jika nilai  $\Delta G_{\text{ads}}$  lebih positif dari  $-20 \text{ kJ/mol}$  maka proses adsorpsi yang terbentuk adalah fisisorpsi. Jika  $\Delta G_{\text{ads}}$  bernilai antara  $-20$  hingga  $-40$  maka proses adsorpsinya adalah proses campuran dari fisisorpsi dan kemisorpsi. Sedangkan proses kemisorpsi terjadi ketika nilai  $\Delta G_{\text{ads}}$  lebih negatif dari  $-10 \text{ kJ/mol}$ . Pada data yang dihasilkan dari inhibitor daun teh ini dapat disimpulkan bahwa metode adsorpsi yang terjadi baik pada lingkungan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  maupun  $\text{CH}_3\text{COOH}$  nilai  $\Delta G_{\text{ads}}$  lebih besar dari  $-10 \text{ kJ/mol}$  sehingga metode adsorpsi antara permukaan baja dengan inhibitor yang terbentuk pada inhibitor ini adalah proses fisisorpsi.

## 4.2 Pembahasan

Pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisa efektifitas ekstrak daun teh sebagai inhibitor organik terhadap laju korosi baja API 5L Grade B dalam  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 3. Dengan variabel konsentrasi inhibitor sebesar 100, 300, 500, 700, dan 900 ppm serta interval 5 dan 10 hari.

Dari hasil pengujian kadar tanin dengan metode UV-Vis Spektrophotometri didapatkan persentasi rata-rata tanin dalam ekstrak daun teh sebesar 23,03% dari berat total ekstrak daun teh yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. kandungan tanin yang terdapat dalam daun teh didapatkan juga dari senyawa lain yang

---

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



teridentifikasi saat pengujian, khususnya senyawa tanin seperti katekin, EC, ECG, ECGC, dan GC yang masih aktif berada pada sel daun (Yulia, 2006).

Dari hasil uji FTIR ekstrak pada Tabel 4.2 dapat dikonfirmasi adanya senyawa yang dapat diidentifikasi sebagai zat antikorosi. Pada hasil uji FTIR pada baja API 5L Grade B yang telah dilakukan perendaman selama 10 hari dalam lingkungan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ditemukan senyawa tertentu pada masing masing permukaan baja. Pada baja API 5L grade B yang dilakukan perendaman dalam  $\text{H}_2\text{SO}_4$  selama 10 hari ditemukan adanya senyawa seperti pada Tabel 4.3 pada permukaan baja. Sehingga dapat dikatakan bahwa senyawa-senyawa tersebut teradsorpsi. Senyawa O-H yang terutama berperan sebagai antikorosi. Sedangkan pada hasil uji FTIR pada baja yang telah direndam dalam lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ditemukan senyawa seperti pada Tabel 4.4 pada permukaan baja. Pada baja yang telah direndam dalam  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ditemukan pula senyawa yang ada pada ekstrak daun teh, sehingga dapat disimpulkan bahwa senyawa pada daun teh teradsorpsi pada permukaan logam yang mengindikasikan bahwa inhibitor ekstrak daun teh bereaksi dengan logam.

Dari hasil pengujian *weight loss* dapat dibuktikan bahwa inhibitor ekstrak daun teh dapat menurunkan laju korosi dibandingkan dengan tidak adanya inhibitor ekstrak daun teh. Pengujian *weight loss* mengindikasikan keadaan sebenarnya dari proses korosivitas yang terjadi. Grafik pengaruh konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi baja dalam lingkungan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dapat dilihat pada Gambar 4.6, sedangkan untuk grafik pengaruh konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi baja dalam lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dapat dilihat pada Gambar 4.8. Sementara untuk grafik pengaruh konsentrasi inhibitor terhadap efisiensi inhibisi baja dalam lingkungan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dapat dilihat pada Gambar 4.7, dan pengaruh konsentrasi inhibitor terhadap efisiensi inhibisi baja dalam lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dapat dilihat pada Gambar 4.9. Pada penambahan inhibitor ekstrak daun teh dalam lingkungan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  didapatkan laju korosi terendah sebesar 0,05 mm/y dengan



konsentrasi inhibitor sebesar 300 ppm dengan waktu perendaman selama 10 hari dan efisiensi inhibisi yang didapatkan sebesar 87,82%. Sedangkan pada penambahan inhibitor ekstrak daun teh dalam lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  didapatkan laju korosi terendah sebesar 1,1 mm/y dengan konsentrasi inhibitor sebesar 900 ppm dengan waktu perendaman selama 5 hari dan efisiensi inhibisi yang didapatkan sebesar 60,72%. Pada inhibitor ekstrak daun teh dapat dikatakan bahwa inhibitor bekerja lebih baik pada larutan asam kuat khususnya pada penelitian ini adalah  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , dimana efisiensi laju korosinya lebih tinggi dibandingkan dengan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pada kondisi pH yang sama. Kinerja inhibitor sendiri dikategorikan menurut besarnya laju korosi dimana inhibitor ekstrak daun teh pada lingkungan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dapat dikategorikan *excellent* dan pada lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dapat dikategorikan *poor*.

Hasil pengujian tafel polarisasi menunjukkan bahwa inhibitor ekstrak daun teh pada konsentrasi 300 ppm dalam larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  menghasilkan laju korosi sebesar 0,06 mm/y. Sementara hasil pengujian tafel polarisasi pada inhibitor ekstrak daun teh dengan konsentrasi 700 ppm dalam larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  menghasilkan laju korosi sebesar 1,4 mm/y dimana hasil yang didapat lebih besar pada uji polarisasi tafel apabila dibandingkan dengan pengujian *weight loss* seperti pada Tabel 4.9. Dimana pengujian polarisasi tafel merupakan pengujian dimana kondisi sesaat tentang bagaimana perilaku inhibisi pada inhibitor.

Kemudian untuk mengetahui tahanan polarisasi ( $R_p$ ) dan tahanan larutan ( $R_s$ ) pada larutan dengan penambahan inhibitor ekstrak daun teh maka dilakukan pengujian EIS. Dari pengujian EIS didapatkan tahanan polarisasi pada 300 ppm dalam lingkungan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  lebih besar dibandingkan dengan 700 ppm dalam lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.11. menurut wahyuningsih dalam penelitiannya pada tahun 2010, hal ini berkaitan dengan perpindahan elektron, semakin cepat elektron berpindah maka tahanan yang terbentuk akan semakin kecil dan laju korosi akan semakin tinggi. Begitu juga sebaliknya bila semakin lambat elektron berpindah maka tahanan yang terbentuk

---

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



akan semakin besar dan laju korosi akan semakin kecil. Dimana tahanan polarisasi yang semakin kecil dikarenakan inhibitor tidak bekerja maksimal dalam menghambat korosi, sehingga belum terbentuk lapisan pasif pada permukaan baja.

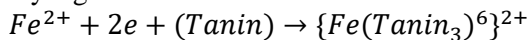
Pada pengujian XRD yang telah dilakukan pada baja API 5L Grade B dengan penambahan maupun tanpa penambahan inhibitor dalam lingkungan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  maupun  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Pada kondisi lingkungan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ditemukan unsur Fe, senyawa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan  $\text{FeOOH}$  pada baja API 5L Grade B yang tidak diberikan inhibitor, dimana ketika diberikan inhibitor senyawa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  tidak ditemukan. Dimana  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  merupakan produk korosi seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 2.2.1.1. Sementara senyawa  $\text{FeSO}_4$  yang seharusnya terbentuk pada reaksi baja dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  tidak ditemukan. Hal ini dikarenakan  $\text{Fe}_2\text{SO}_4$  larut dalam air direpresentasikan sebagai  $\text{Fe}^{2+}$  (Manahan, 2003). Dimana  $\text{Fe}^{2+}$  yang tidak stabil bereaksi dengan ion hidroksil yang bermuatan negatif yang diperoleh dari reaksi dissosiasi air membentuk ferrihidroksida ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) (Gusti, 2011). Sementara  $\text{FeOOH}$  ditemukan pada baja sebelum diberikan inhibitor tetapi tidak ditemukan pada baja setelah dilakukan perendaman dengan inhibitor, dapat disimpulkan akibat dari adanya aktivitas antioksidan sehingga tidak ditemukannya  $\text{FeOOH}$  pada baja API 5L Grade B yang telah diberikan penambahan inhibitor. Sedangkan ditemukan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  pada baja yang telah dilakukan perendaman dengan inhibitor. Dimana hal ini menunjukkan bahwa permukaan baja telah mengalami korosi sebelum lapisan inhibitor terbentuk, dimana inhibitor memerlukan waktu tertentu agar zat antioksidan bekerja. Sedangkan pada hasil pengujian XRD pada baja dalam lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ditemukan unsur Fe dan senyawa  $\text{Fe}^{3+}(\text{OH})$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ditemukan pada kedua baja baik yang telah diberikan maupun yang tidak diberikan inhibitor dalam intensitas rendah. Dimana hal ini menunjukkan bahwa permukaan baja telah mengalami korosi sebelum lapisan inhibitor terbentuk, sedangkan  $\text{FeOOH}$  tidak ditemukan pada baja yang telah diberikan penambahan inhibitor, dapat disimpulkan hal ini



terjadi karena adanya aktivitas antioksidan, sehingga tidak ditemukannya  $\text{FeOOH}$  pada baja yang telah dilakukan penambahan inhibitor. Sedangkan produk korosi yang diduga terbentuk menurut Wahyuningsih dkk pada tahun 2010 adalah besi asetat. Dimana besi asetat sendiri larut dalam media uji, dimana asam asetat berfungsi hanya sebagai sumber dari ion hidrogen dimana kemudian direduksi pada permukaan logam, yang disebut sebagai “buffer” (Tran, 2013).

Dari perhitungan adsorpsi isothermal langmuir didapatkan bahwa nilai  $\Delta G_{\text{ads}}$  lebih besar dari -20 kJ/mol baik pada lingkungan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  maupun pada lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Dikarenakan nilai  $\Delta G_{\text{ads}}$  lebih besar dari -20 kJ/mol maka interaksi elektrostatis antara permukaan logam dan molekul organik tergolong dalam proses adsorpsi fisisorpsi (*physical adsorption*).

Mekanisme proteksi yang terjadi adalah dimana ekstrak daun teh memiliki gugus O yang terdapat pada tanin untuk mendonorkan sepasang elektron bebasnya pada permukaan baja ketika ion  $\text{Fe}^+$  terdifusi. Kemudian terjadi reaksi antara besi dan tanin seperti yang diilustrasikan berikut ini:



Senyawa kompleks yang terbentuk memiliki kestabilan yang lebih tinggi dibandingkan baja, sehingga permukaan baja yang diberi inhibitor akan lebih tahan terhadap korosi (Prasetya, 2015).

Dari pembahasan mengenai inhibitor ekstrak daun teh, dapat disimpulkan bahwa inhibitor ini mampu bekerja baik pada lingkungan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pH 3 pada konsentrasi 300 ppm, sedangkan pada lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  inhibitor ini mampu mengurangi laju korosi, namun bekerja dengan kurang baik pada kondisi lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Dari hasil pengujian diketahui pengaruh inhibitor ekstrak daun teh (*Camellia Sinensis*) pada lingkungan asam kuat dan asam lemah ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) pH 3 menghasilkan laju korosi terendah sebesar 0,05 mm/y pada konsentrasi 300 ppm dalam lingkungan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan efisiensi inhibisi sebesar 87,82%. Sedangkan dalam lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  didapatkan laju korosi terkecil sebesar 1,1 mm/y dengan efisiensi inhibisi sebesar 60,72% pada konsentrasi 900 ppm.
2. Inhibitor ekstrak daun teh bekerja secara adsorpsi pada permukaan baja API 5L Grade B dengan membentuk senyawa kompleks sehingga menghasilkan lapisan tipis yang menghambat laju korosi.

#### **5.2 Saran**

Berikut adalah beberapa saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Perlu adanya penambahan variasi konsentrasi inhibitor untuk melihat tren laju korosi yang terjadi dalam lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$



*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*



## DAFTAR PUSTAKA

- Alsabagh, A. M., Migahed, M. A., Abdelraouf, M., & Khamis, E. A. (2014). Utilization of Green Tea as Environmentally Friendly Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in Acidic Media. *International Journal of Electrochemical Science*.
- Amalia, I. (2016). *Pengaruh Variasi Konsentrasi Ekstrak Daun Jambu Biji dan Daun Cengkeh sebagai Inhibitor Organik pada baja API 5L grade B di lingkungan NaCl 3,5 % pH 4*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Arifin, M. N. (2014). *Studi Perbandingan Kinetika Reaksi Hidrolisis Tepung Tapioka dan Tepung Maizena dengan Katalis Asam Sulfat*. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Asdim. (2007). Penentuan Efisiensi Inhibisi Ekstrak Kulit Buah Manggis (*Garcinia mangostana* L.) pada Reaksi Korosi Baja dalam Larutan Asam. *Jurnal Gradien Vol.3 No.2*, 273-276.
- ASM International. (1992). *ASM Metals Handbook Volume 13 9th Edition*. ASM International.
- ASTM. (1999). *ASTM G1-90 Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluation Corrosion Test Specimens*. ASTM International.
- Bundjali, B. (2005). *Tinjauan Termodinamika dan Kinetika Serta Teknik - Teknik Pengukuran Laju Korosi*. Bandung: ITB.
- Callister Jr., W. D., & Rethwisch, D. G. (2013). *Materials Science and Engineering : An Introduction, 9th Edition*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.

- Chang, R. (2010). *Chemistry 10th Edition*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Djaprie, S. (1995). *Ilmu dan Teknologi Bahan edisi 5*. Jakarta: Erlangga.
- Elayaperumal, K., & Raja, V. S. (2015). *Corrosion Failures Theory, Case Studies, and Solutions*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Ferdany, A. (2010). *Tanin*. Retrieved November 11, 2011, from Wikipedia.org: <http://en.wikipedia.org/wiki/tannin>
- Fogler. (1992). *Elements of Chemical Reaction Engineering, 2nd ed.* Michigan: Prentice-Hall International. Inc.
- Fontana, M. G. (1987). *Corrosion Engineering*. McGraw Hill.
- Gaverick, L. (1994). *Corrosion in The Petrochemical Industry*. Ohio: ASM International.
- Gusti, D. R. (2011). Laju Korosi Baja Dalam Larutan Asam Sulfat dan Dalam Larutan Natrium Klorida. *Jurnal Sains dan Matematika*, Universitas Jambi.
- Haryono, G., & Sugiarto, B. (2010). *Ekstrak Bahan Alam sebagai Inhibitor Korosi*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Kimia FTI UPN Veteran.
- Hermawan, B. (2007). *Ekstrak Bahan Alami sebagai Inhibitor Korosi*. Retrieved November 11, 2011, from chem-istry.org: <http://www.chem-istry.org/author/BeniHermawan.com>
- Jaka. (2010, Januari 2). *Pengolahan Teh dan Pengelompokan*. Retrieved Februari 13, 2017, from Teh Hitam OuTea Untuk Kesehatan:

hitam.blogspot.co.id/2007/07/pengolahan-teh-dan-pengelompokan.html

- Khanbabae, K., & Ree, T. v. (2001). Tannins: Classification and Definition. *Natural Product Reports*, 641-649.
- Loto, C. A. (2011). Inhibition Effect of Tea (*Camellia Sinensis*) Extract on The Corrosion of Mild Steel in Dilute Sulphuric Acid. *Journal of Materials and Environmental Science* 2, 335-344.
- Manahan, S. E. (2003). *Toxicological Chemsitry and Biochemistry Third Edition*. Florida: Lewis Publishers.
- Prasetya, R. H. (2015). *Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Ekstrak Daun Teh Terhadap Laju Korosi Baja AISI E2512*. Jember: Digital Repository Universitas Jember.
- Prasetyo, S. . (2011). Pengaruh Rasio Biji Teh / Pelarut Air dan Temperatur pada Ekstraksi Saponin Biji Teh secara Batch. *Teknik Kimia, Universitas Katolik Parahyangan Bandung*.
- Rieger, H. (1992). *Electrochemistry 2nd edition*. New York: Chapman and Hall Inc.
- Roberge, P. R. (2008). *Corrosion Engineering Principles and Practice*. New York: McGraw-Hill Education.
- Santoso, R. W. (2011). Pengaruh Konsentrasi  $\text{CH}_3\text{COOH}$  Terhadap Karakterisasi Korosi Baja BS 970 di Lingkungan  $\text{CO}_2$ . *Jurnal Teknik Material dan Metalurgi*.
- Saputri, D. (2014). Pengaruh Waktu Perendaman dan Konsentrasi Ekstrak Daun Jambu Biji (*Psidium Guajava*, Linn) Sebagai Inhibitor Terhadap Laju Korosi Baja SS 304 Dalam Larutan Garam dan Asam. *Teknik Kimia No.1, Vol 20*, 28-37.

- Sulistijono, Shahab, A., & Pradityana, A. (2014, May 09). *Penggunaan Bio Inhibitor Dalam Pipe Plant Industri Migas*. Retrieved Januari 11, 2017, from Indocor.org: <http://indocor.org/penggunaan-bio-inhibitor-dalam-pipe-plant-industri-migas/>
- Supardi, H. R. (1997). *Korosi*. Bandung: Tarsito.
- Surakusumah, D. P. (2014). *Studi Pebandingan Coating Primer antara Epoxy dengan Alkyd serta Topcoat antara Polyurethane dengan Acrilic Menggunakan Metode Electrochemical Impedance Spectroscopy*. Depok: FT UI.
- Towaha, J. (2013). Kandungan Senyawa Kimia pada Daun Teh (*Camellia Sinensis*). *Warta Penelitian dan Pengembangan Tanaman Industri*.
- Tran, T. e. (2013). Investigation of the Mechanism for Acetic Acid Corrosion of Mild Steel. *Nace International Corrosion Conference & Expo*.
- Trethewey, K., & Chamberlain, J. (1991). *Korosi (Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan)*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Triwibowo, J. (2001). *Rekayasa Bahan Katoda  $\text{LiTiMnFe(PO}_4)_3$  dan Pengaruhnya Terhadap Performa Solid Polymer Battery (SPB) Lithium*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Villamel, R. (2002). Sodium dodecylsulfate/benzotriazole synergistic effect as an inhibitor of processes on copper chloridric acid interfaces . *Journal of Electroanalytical Chemistry* 535, 75-83.
- Wahyuningsih, A. (2010). Metamina Sebagai Inhibitor Korosi Baja Karbon Dalam Lingkungan Sesuai Kondisi Pertambangan Minyak Bumi. *Jurnal Sains dan Teknologi Kimia*, 17-29.

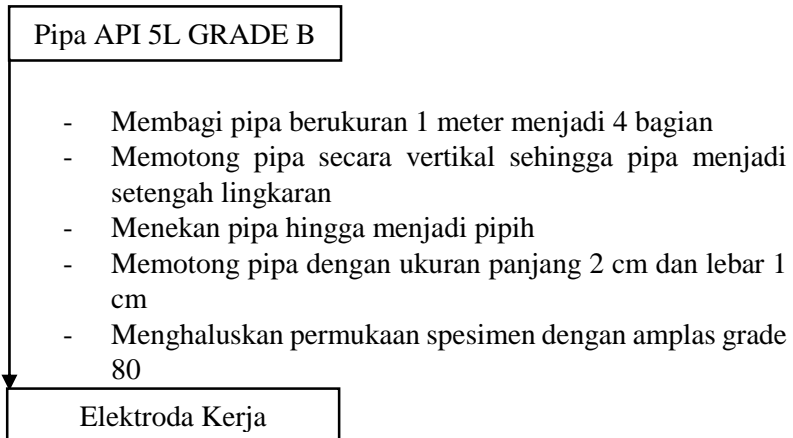
- Widharto, S. (2004). *Karat dan Pencegahannya Edisi Ketiga*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Yana, T. (2004, Oktober 12). *Proses Pengolahan Teh Hitam dan Teh Hijau*. Retrieved Februari 13, 2017, from Tanaman Perkebunan: <http://budidayatanaman-perkebunan.blogspot.co.id/2014/10/pengolahan-teh-hitam-dan-teh-hijau.html>
- Yttria, M. (2014). *Studi Pengaruh Ekstrak Jahe sebagai Inhibitor Pipa Baja API 5L pada Lingkungan Larutan NaCl 3,5%*. Depok: Universitas Indonesia.
- Yulia, R. (2006). *Kandungan Tanin dan Potensi Anti Streptococcus mutans Daun Teh Var. Assamica Pada Berbagai Tahap Pengolahan*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

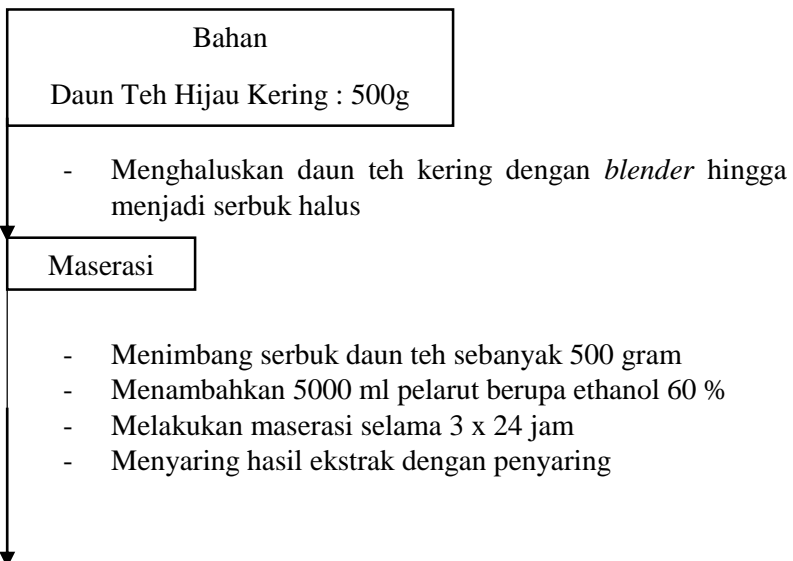
## LAMPIRAN

### Lampiran A

#### 1. Pembuatan Elektroda Kerja



#### 2. Pembuatan Inhibitor Ekstrak Daun Teh



- Memekatkan hasil ekstrak hingga kental dengan rotary evaporator pada temperatur 70°C selama 13 jam

Ekstrak Kental

### 3. Pembuatan Larutan $\text{H}_2\text{SO}_4$

$\text{H}_2\text{SO}_4$  98%

- Mengukur larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98% sebanyak 2,72 ml
- Memasukkan aquades sebanyak 200 ml ke dalam gelas ukur
- Memasukkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ke dalam gelas ukur
- Menambahkan aquades hingga batas 500 ml
- Mengukur pH dengan pH meter
- Menambahkan 5 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,1 M ke dalam 995 ml aquades
- Menambahkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ke dalam gelas ukur hingga mencapai pH 3

$\text{H}_2\text{SO}_4$  pH 3

### 4. Pembuatan Larutan $\text{CH}_3\text{COOH}$

$\text{CH}_3\text{COOH}$  5 M

- Mengukur larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  5 M sebanyak 40 ml
- Memasukkan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ke dalam gelas ukur
- Menambahkan aquades hingga mencapai batas 1000 ml
- Mengukur larutan dengan pH meter
- Menambahkan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ke dalam larutan hingga mencapai pH 3

$\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 3

### 5. Prosedur Uji Weight Loss

Bahan  
 -Spesimen  
 -Larutan Elektrolit  
 -Inhibitor



- Menyiapkan gelas kaca sebagai wadah
- Menimbang berat awal baja dan mencatat
- Mengikat baja dengan tali dan disambungkan ke stik
- Menambahkan inhibitor ke dalam larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan konsentrasi 0, 100, 300, 500, 700, dan 900 ppm
- Merendam baja dalam larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{CH}_3\text{COOH}$
- Mengukur pH larutan dengan pH meter

Menunggu perendaman  
selama 5 dan 10 hari

- Mengambil dan mencuci spesimen hingga tidak terlihat lagi produk korosi
- Menimbang dan mencatat berat akhir spesimen

Mendapatkan  
pengurangan berat

## Lampiran B

### 1. Pembuatan larutan $\text{H}_2\text{SO}_4$

Diketahui : volume larutan = 1000 ml

Ditanya : volume  $\text{H}_2\text{SO}_4$  yang dilarutkan

Jawab :  $M = \frac{(10 \times \% \times \rho)}{Mr}$

$$= \frac{10 \times 98 \times 1,84}{98,08} = 18,38 \text{ M}$$

Pengenceran 0,1 M

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$18,38 \times V = 0,1 \times 500$$

$$V = \frac{50}{18,38} = 2,72 \text{ ml}$$

Pengenceran 0,0005 M

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$0,1 \times V = 0,0005 \times 1000$$

$$V = \frac{0,5}{0,1} = 5 \text{ ml}$$

## 2. Pembuatan larutan $\text{CH}_3\text{COOH}$

Diketahui : volume larutan = 1000 ml

Ditanya : volume  $\text{CH}_3\text{COOH}$  yang dilarutkan

Jawab :

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$5 \times V = 0,2 \times 1000$$

$$V = \frac{200}{5} = 40$$

## 3. Perhitungan ppm Inhibitor

Diketahui :

- konsentrasi inhibitor dalam larutan adalah 100, 300, 500, 700, 900 ppm
- Larutan elektrolit = 200 ml

Ditanya : volume inhibitor yang dimasukkan ke dalam larutan

Jawab :  $1 \text{ ppm} = \frac{1 \text{ mg inhibitor}}{\text{liter larutan}}$

- 100 ppm

$$100 \text{ ppm} = \frac{\text{mg inhibitor}}{0,2} = 20 \text{ mg}$$

- 300 ppm

$$300 \text{ ppm} = \frac{\text{mg inhibitor}}{0,2} = 60 \text{ mg}$$

- 500 ppm

$$500 \text{ ppm} = \frac{\text{mg inhibitor}}{0,2} = 100 \text{ mg}$$

- 700 ppm

$$700 \text{ ppm} = \frac{\text{mg inhibitor}}{0,2} = 140 \text{ mg}$$

- 900 ppm

$$900 \text{ ppm} = \frac{\text{mg inhibitor}}{0,2} = 180 \text{ mg}$$

#### 4. Perhitungan Weight Loss

Diketahui :

- konstanta mm/y =  $8,76 \times 10^4$
- Selisih berat spesimen (gr)
- Densitas API 5L Grade B =  $7,85 \text{ g/cm}^3$

Ditanya : laju korosi

Jawab :

Contoh perhitungan

- Pada larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan waktu perendaman 5 hari, konsentrasi inhibitor 300 ppm, dan luas permukaan  $5,768 \text{ cm}^2$

$$Cr = \frac{K.W}{D.A.T}$$

$$Cr = \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0061}{7,85 \times 5,678 \times 120}$$

$$Cr = 0,098346 \text{ mm/y}$$

- Pada larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan waktu perendaman 10 hari, konsentrasi inhibitor 700 ppm, dan luas permukaan  $5,20857 \text{ cm}^2$

$$Cr = \frac{K.W}{D.A.T}$$

$$Cr = \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,1417}{7,85 \times 5,20857 \times 240}$$

$$Cr = 1,2465 \text{ mm/y}$$

### 5. Perhitungan Efisiensi Inhibitor

Diketahui :  $CR_{uninhibited}$  dan  $CR_{inhibited}$

Ditanya : IE% (Efisiensi Inhibitor)

Jawab :

Contoh perhitungan

- Pada larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan konsentrasi inhibitor 300 ppm dengan lama perendaman 5 hari

$$IE\% = 100\% \frac{CR_{uninhibited} - CR_{inhibited}}{CR_{uninhibited}}$$

$$IE\% = 100\% \frac{0,163297 - 0,071397}{0,163297}$$

$$IE\% = 56,28 \%$$

### 6. Perhitungan Isotherm adsorpsi Langmuir

Diketahui :

- $\theta$  = derajat *surface coverage*
- IE% = efisiensi inhibitor (%)
- R = konstanta gas ideal ( $8,314 \text{ J/mol K}$ )
- T = temperatur kamar ( $298\text{K}$ )

Ditanya : Kads dan  $\Delta G^\circ$  ?

Dijawab :

Contoh perhitungan untuk variasi konsentrasi 300 ppm dalam lingkungan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pH 3 dengan perendaman selama 10 hari.

Mencari nilai  $\theta$  :

$$\theta = \frac{IE\%}{100}$$

$$\theta = \frac{87,822}{100}$$

$$\theta = 0,878$$

Mencari nilai  $K_{ads}$  :

$$K_{ads} = \frac{\theta}{C(1 - \theta)}$$

$$K_{ads} = \frac{0,878}{300(1 - 0,878)}$$

$$K_{ads} = 0,024$$

Mencari nilai  $\Delta G^\circ$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln (5,55 \times K_{ads})$$

$$\Delta G^\circ = -(8,314 \times 298 \ln(5,55 \times 0,024))$$

$$\Delta G^\circ = -4991 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G^\circ = -4,991 \text{ kJ/mol}$$

## 1. Sertifikat pipa API 5L Grade B



FR

STAMP

## 2. Hasil Pengujian UV-Vis

NO: F-04

### LAPORAN HASIL UJI

No. 128 / LHM / III / 2017

1. Tanggal / No. Surat Perintah Uji : 06.03.17 / 012 / SPU / III / 17
2. Tanggal Selesai Uji : 09.03.17
3. Nama Sampel : Ekstrak daun teh
4. Kode Sampel : Tanin 03 - 76
5. Hasil Pemeriksaan :

| No. | Parameter | Metode + BD       | Hasil              | Syarat | Keterangan |
|-----|-----------|-------------------|--------------------|--------|------------|
| 1.  | Tanin     | Spektrophotometri | (23,03 ± 1,0) %b/b | -      |            |



# Penentuan Kadar Tanin

Metode : Spektrofotometri ( AOAC Ch26;p.17, 2005)  
 Jenis sampel : Larutan Ekstrak  
 Kode sampel : Tanin 3 - 78

128/3

Pereaksi a. Folin  
 b. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 35 g/100 mL H<sub>2</sub>O  
 Larutan induk std Tanin :  
 50.8 mg dilarutkan dalam 50 mL H<sub>2</sub>O = 1012 ppm

| Baku induk<br>(ppm) | Dipipet<br>(mL) | Ad Volume<br>(mL) | ppm   |           |         |
|---------------------|-----------------|-------------------|-------|-----------|---------|
| 1012.0              | 0.050           | 10.0              | 5.06  |           |         |
| 1012.0              | 0.100           | 10.0              | 10.12 |           |         |
| 1012.0              | 0.150           | 10.0              | 15.18 |           |         |
| 1012.0              | 0.200           | 10.0              | 20.24 |           |         |
| 1012.0              | 0.250           | 10.0              | 25.30 |           |         |
|                     |                 |                   |       | korelasi= | 0.99961 |
|                     |                 |                   |       | slope=    | 0.02937 |
|                     |                 |                   |       | intersep= | 0.00046 |
|                     |                 |                   |       | Vxo=      | 1.7     |

## Pembuatan larutan kurva baku Tanin :

Pipet 1 mL (masing-masing kadar)

Tambahkan berturut-turut 0.5 mL Folin dan 2 mL Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>,

## Preparasi sampel

1. Ditimbang 100 mg sampel dilarutkan dalam 50 mL H<sub>2</sub>O
2. Encerkan sesuai rentang kurva baku, kemudian pipet 1 mL
3. Tambahkan berturut-turut 0.5 mL Folin dan 2 mL Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>,
4. Ukur Absorban Std dan sampel pada  $\lambda$  maksimum ( $\pm$  770 nm)

## Hasil pengamatan Sampel

| Berat sampel<br>(g) | Ad. Vol.<br>(mL) | Faktor<br>Pengenceran |         | Kadar Tanin |  |
|---------------------|------------------|-----------------------|---------|-------------|--|
|                     |                  | Abs                   | ppm     | % (b/b)     |  |
| 0.1030              | 50.0             | 0.35306               | 12.0054 | 23.31       |  |
| 0.1011              | 50.0             | 0.67568               | 22.9901 | 22.74       |  |
| 0.1008              | 50.0             | 0.67885               | 23.0681 | 22.91       |  |
|                     |                  |                       | Rerata  | 23.63       |  |
|                     |                  |                       | SD      | 0.40        |  |
|                     |                  |                       | %RSD    | 1.8         |  |
|                     |                  |                       | $\pm$   | 1.0         |  |

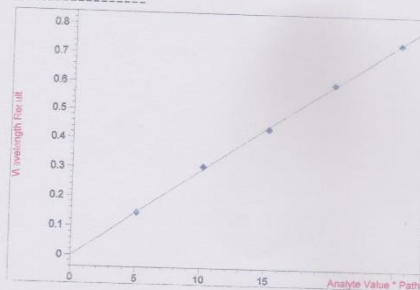
Surabaya 8-3- 2017

Penyelia,

( Dra. Toetik Aryaní Apt., M.Si )



Calibration Curve



Calibration Table

| # | Standard Name | Tanin(ppm) | Abs<770nm> | %Error |
|---|---------------|------------|------------|--------|
| 1 |               | 5.06000    | 0.14538    | 2.32   |
| 2 |               | 10.12000   | 0.30633    | -2.89  |
| 3 |               | 15.18000   | 0.43841    | 1.78   |
| 4 |               | 20.24000   | 0.59924    | -0.71  |
| 5 |               | 25.30000   | 0.74191    | 0.24   |

Calibration Result Summary

|                     |              |                      |             |
|---------------------|--------------|----------------------|-------------|
| Analyte Name        | Tanin        | Std.Dev. of k1       | 0.20236 ppm |
| Number of Standards | 5            | Std.Dev. of Calibrat | 0.22321 ppm |
| Calibration Curve   | $C = k1 * A$ | Correl. Coeff. (R^2) | 0.99986     |
| Coefficient k1      | 34.01800 ppm |                      |             |

\*\*\* End Hardcopy view \*\*\*

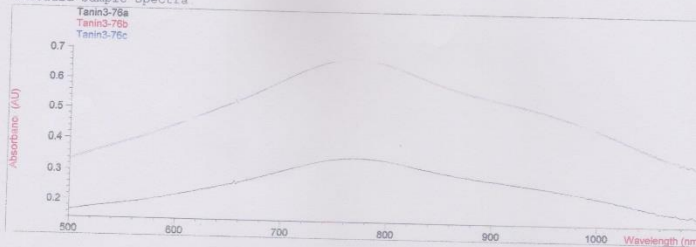
# Quantification Report

Date 3/8/2017 Time 14:27:23 Page 1 of 1

Method file : NAOCLM.M ( modified ) Last update: Date 3/8/2017 Time 1:37:44 PM  
Information : Default Method

Data File : <untitled>

## Overlaid Sample Spectra



Analyte name : Tanin  
Calibration equation: Conc. = 34.01800 ppm \* Abs

Calibrated at : Date 3/8/2017 Time 1:37:44 PM

Operator: Haryono

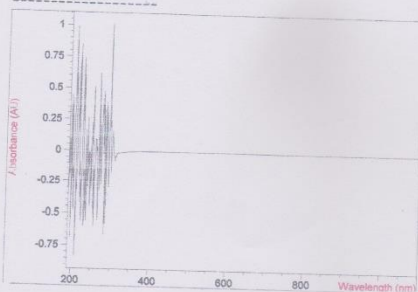
| # | Name       | Dilut. Factor | Tanin(ppm) | Abs<770nm> |
|---|------------|---------------|------------|------------|
| 1 | Tanin3-76a | 1.00000       | 12.01000   | 0.35306    |
| 2 | Tanin3-76b | 1.00000       | 22.98500   | 0.67568    |
| 3 | Tanin3-76c | 1.00000       | 23.09300   | 0.67895    |

Report generated by : Haryono

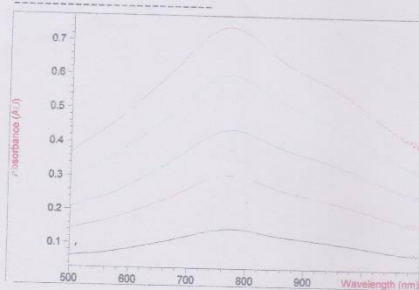
Signature: .....

\*\*\* End Quantification Report \*\*\*

Last Blank Spectrum

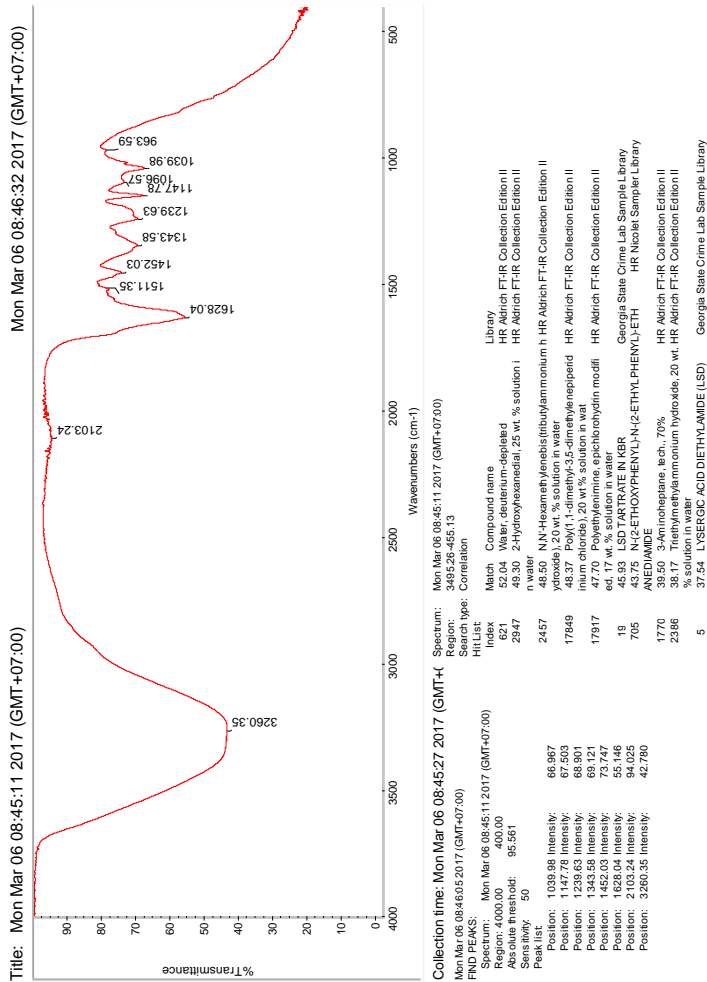


Processed Standard Spectra

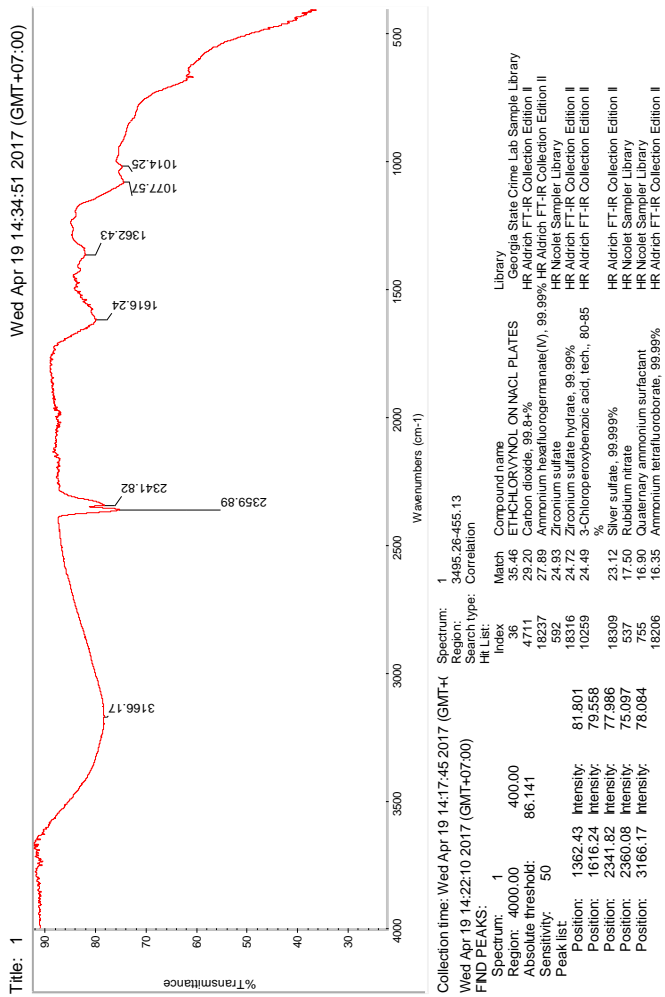


3. Hasil Pengujian FTIR

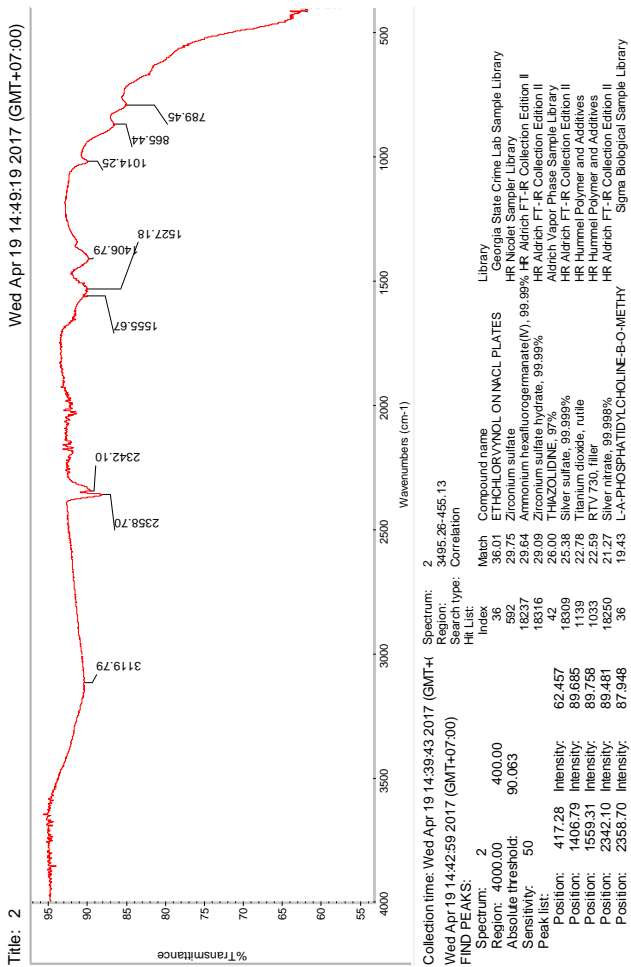
a. Ekstrak Daun Teh



**b. Pipa API 5L Grade B setelah perendaman dengan penambahan 900 ppm ekstrak daun teh dalam larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**



c. Pipa API 5L Grade B setelah perendaman dengan penambahan 900 ppm ekstrak daun teh dalam larutan CH<sub>3</sub>COOH



#### 4. Hasil Pengujian Weight Loss

##### a. Lingkungan $\text{H}_2\text{SO}_4$ 5 Hari

| No | Konsentrasi inhibitor (ppm) | Massa (gram) |             |               |             | Laju Korosi (mm/y) |          | Efisiensi |
|----|-----------------------------|--------------|-------------|---------------|-------------|--------------------|----------|-----------|
|    |                             | Berat awal   | Berat akhir | Selisih berat | Laju Korosi | Rata - rata        |          |           |
| 1  | Tanpa                       | 5.0168       | 5.0008      | 0.016         | 0.221275    | 0.163297           | -        |           |
| 2  |                             | 4.3447       | 4.3365      | 0.0082        | 0.130752    |                    |          |           |
| 3  |                             | 4.2973       | 4.289       | 0.0083        | 0.137864    |                    |          |           |
| 4  | 100                         | 4.3411       | 4.337       | 0.0041        | 0.068772    | 0.097858           | 40.07394 |           |
| 5  |                             | 4.6694       | 4.6647      | 0.0047        | 0.071754    |                    |          |           |
| 6  |                             | 4.8092       | 4.7987      | 0.0105        | 0.153046    |                    |          |           |
| 7  | 300                         | 4.4693       | 4.4632      | 0.0061        | 0.098346    | 0.071397           | 56.27817 |           |
| 8  |                             | 4.2996       | 4.2959      | 0.0037        | 0.062341    |                    |          |           |
| 9  |                             | 4.9052       | 4.9015      | 0.0037        | 0.053502    |                    |          |           |
| 10 | 500                         | 4.1747       | 4.1698      | 0.0049        | 0.082291    | 0.074273           | 54.51684 |           |
| 11 |                             | 5.03         | 5.0256      | 0.0044        | 0.064312    |                    |          |           |
| 12 |                             | 4.7011       | 4.6961      | 0.005         | 0.076215    |                    |          |           |
| 13 | 700                         | 4.6965       | 4.6909      | 0.0056        | 0.087235    | 0.092111           | 43.59284 |           |
| 14 |                             | 4.6654       | 4.6589      | 0.0065        | 0.101249    |                    |          |           |
| 15 |                             | 4.8101       | 4.8044      | 0.0057        | 0.08785     |                    |          |           |
| 16 | 900                         | 4.5278       | 4.5221      | 0.0057        | 0.090095    | 0.093388           | 42.81107 |           |
| 17 |                             | 4.6474       | 4.6416      | 0.0058        | 0.092896    |                    |          |           |
| 18 |                             | 4.9655       | 4.9588      | 0.0067        | 0.097172    |                    |          |           |

### b. Lingkungan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10 hari

| No | Konsentrasi inhibitor (ppm) | Massa (gram) |             |               |             | Laju Korosi (mm/y) |          | Efisiensi |
|----|-----------------------------|--------------|-------------|---------------|-------------|--------------------|----------|-----------|
|    |                             | Berat awal   | Berat akhir | Selisih berat | Laju Korosi | Rata - rata        |          |           |
| 1  | Tanpa                       | 4.6767       | 4.6273      | 0.0494        | 0.37154     | 0.370497           | -        |           |
| 2  |                             | 4.3811       | 4.3366      | 0.0445        | 0.362523    |                    |          |           |
| 3  |                             | 4.1398       | 4.0964      | 0.0434        | 0.377429    |                    |          |           |
| 4  | 100                         | 4.0942       | 4.088       | 0.0062        | 0.054237    | 0.228216           | 38.40289 |           |
| 5  |                             | 4.2579       | 4.2224      | 0.0355        | 0.294256    |                    |          |           |
| 6  |                             | 4.0843       | 4.0468      | 0.0375        | 0.336154    |                    |          |           |
| 7  | 300                         | 5.4399       | 5.4348      | 0.0051        | 0.033973    | 0.045119           | 87.82198 |           |
| 8  |                             | 4.4639       | 4.4581      | 0.0058        | 0.049225    |                    |          |           |
| 9  |                             | 4.4407       | 4.4343      | 0.0064        | 0.05216     |                    |          |           |
| 10 | 500                         | 4.605        | 4.5983      | 0.0067        | 0.054031    | 0.058921           | 84.09685 |           |
| 11 |                             | 4.3838       | 4.3767      | 0.0071        | 0.061107    |                    |          |           |
| 12 |                             | 4.4347       | 4.4274      | 0.0073        | 0.061624    |                    |          |           |
| 13 | 700                         | 3.4377       | 3.4295      | 0.0082        | 0.086836    | 0.066725           | 81.9903  |           |
| 14 |                             | 4.641        | 4.6336      | 0.0074        | 0.057423    |                    |          |           |
| 15 |                             | 4.226        | 4.2193      | 0.0067        | 0.055918    |                    |          |           |
| 16 | 900                         | 5.2936       | 5.2856      | 0.008         | 0.054203    | 0.068099           | 81.6197  |           |
| 17 |                             | 4.5356       | 4.5276      | 0.008         | 0.064954    |                    |          |           |
| 18 |                             | 3.8191       | 3.8103      | 0.0088        | 0.085138    |                    |          |           |



**c. Lingkungan CH<sub>3</sub>COOH 5 hari**

| No | Konsentrasi inhibitor (ppm) | Massa (gram) |             |               | Laju Korosi (mm/y) |             | Efisiensi |
|----|-----------------------------|--------------|-------------|---------------|--------------------|-------------|-----------|
|    |                             | Berat awal   | Berat akhir | Selisih berat | Laju Korosi        | Rata - rata |           |
| 1  | Tanpa                       | 4.0802       | 3.9326      | 0.1476        | 2.708339           | 2.800919    | -         |
| 2  |                             | 4.7318       | 4.5545      | 0.1773        | 3.02306            |             |           |
| 3  |                             | 4.5775       | 4.4194      | 0.1581        | 2.671357           |             |           |
| 4  | 100                         | 5.0161       | 4.8754      | 0.1407        | 2.178174           | 2.303363    | 17.76402  |
| 5  |                             | 4.5474       | 4.394       | 0.1534        | 2.495945           |             |           |
| 6  |                             | 4.2389       | 4.1109      | 0.128         | 2.23597            |             |           |
| 7  | 300                         | 4.7696       | 4.6719      | 0.0977        | 1.531073           | 1.603398    | 42.75456  |
| 8  |                             | 5.1671       | 5.0622      | 0.1049        | 1.492892           |             |           |
| 9  |                             | 4.1745       | 4.0771      | 0.0974        | 1.78623            |             |           |
| 10 | 500                         | 4.929        | 4.8421      | 0.0869        | 1.316422           | 1.325601    | 52.67265  |
| 11 |                             | 4.4476       | 4.3617      | 0.0859        | 1.438716           |             |           |
| 12 |                             | 4.5615       | 4.4868      | 0.0747        | 1.221664           |             |           |
| 13 | 700                         | 4.2903       | 4.222       | 0.0683        | 1.17411            | 1.191009    | 57.47792  |
| 14 |                             | 5.0419       | 4.9586      | 0.0833        | 1.222843           |             |           |
| 15 |                             | 4.6902       | 4.6147      | 0.0755        | 1.176074           |             |           |
| 16 | 900                         | 4.7825       | 4.708       | 0.0745        | 1.16369            | 1.100119    | 60.7229   |
| 17 |                             | 5.0658       | 4.9946      | 0.0712        | 1.068068           |             |           |
| 18 |                             | 4.3849       | 4.3217      | 0.0632        | 1.068601           |             |           |

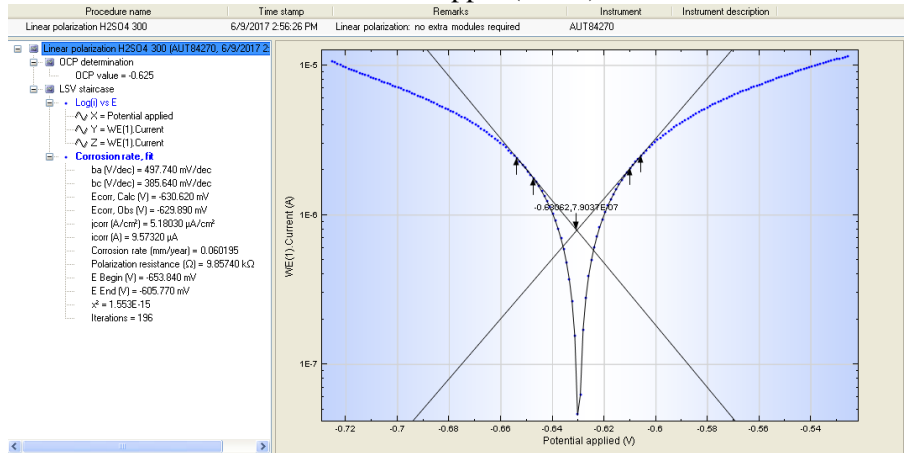
**d. Lingkungan CH<sub>3</sub>COOH 10 hari**

| No | Konsentrasi inhibitor (ppm) | Massa (gram) |             |               |             | Laju Korosi (mm/y) |          | Efisiensi |
|----|-----------------------------|--------------|-------------|---------------|-------------|--------------------|----------|-----------|
|    |                             | Berat awal   | Berat akhir | Selisih berat | Laju Korosi | Rata - rata        |          |           |
| 1  | Tanpa                       | 4.4181       | 4.0175      | 0.4006        | 3.393718    | 3.40737            | -        |           |
| 2  |                             | 4.8008       | 4.3645      | 0.4363        | 3.381854    |                    |          |           |
| 3  |                             | 3.7505       | 3.3955      | 0.355         | 3.446539    |                    |          |           |
| 4  | 100                         | 4.5101       | 4.1484      | 0.3617        | 2.791983    | 2.565543           | 24.70608 |           |
| 5  |                             | 4.1382       | 3.855       | 0.2832        | 2.659795    |                    |          |           |
| 6  |                             | 4.5263       | 4.252       | 0.2743        | 2.244851    |                    |          |           |
| 7  | 300                         | 4.7491       | 4.4365      | 0.3126        | 2.490653    | 2.035167           | 40.27162 |           |
| 8  |                             | 4.6717       | 4.4368      | 0.2349        | 1.794244    |                    |          |           |
| 9  |                             | 4.8321       | 4.5981      | 0.234         | 1.820604    |                    |          |           |
| 10 | 500                         | 4.3959       | 4.1603      | 0.2356        | 1.946746    | 1.887673           | 44.60029 |           |
| 11 |                             | 4.6931       | 4.4943      | 0.1988        | 1.506262    |                    |          |           |
| 12 |                             | 3.8325       | 3.5792      | 0.2533        | 2.210013    |                    |          |           |
| 13 | 700                         | 5.1644       | 4.9742      | 0.1902        | 1.3536      | 1.257391           | 63.09792 |           |
| 14 |                             | 4.6592       | 4.5077      | 0.1515        | 1.153618    |                    |          |           |
| 15 |                             | 3.9739       | 3.8322      | 0.1417        | 1.264953    |                    |          |           |
| 16 | 900                         | 4.5261       | 4.3878      | 0.1383        | 1.066738    | 1.318344           | 61.30906 |           |
| 17 |                             | 4.5445       | 4.359       | 0.1855        | 1.46765     |                    |          |           |
| 18 |                             | 4.7715       | 4.5879      | 0.1836        | 1.420643    |                    |          |           |

## 5. Hasil Pengujian Tafel Polarisasi

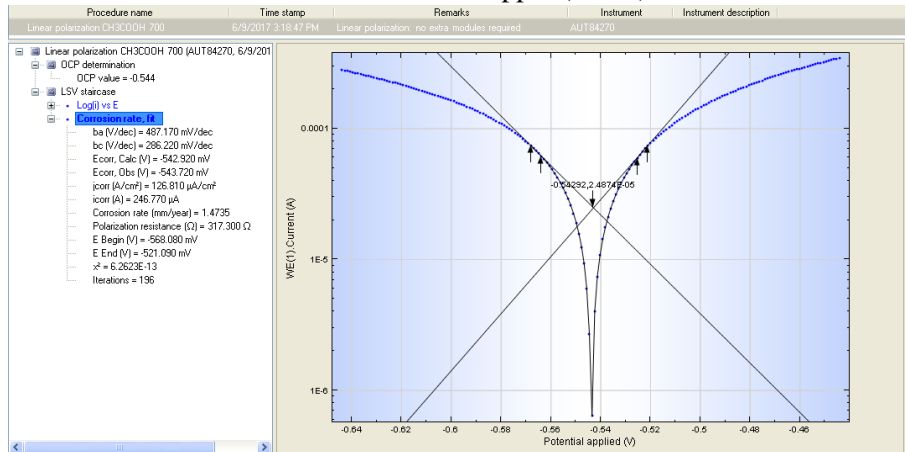
Larutan elektrolit

: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 300ppm (5 hari)

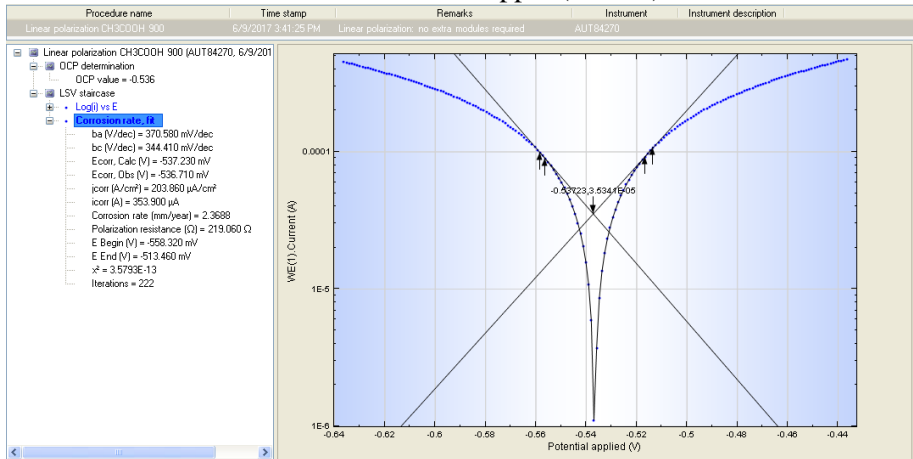


Larutan elektrolit

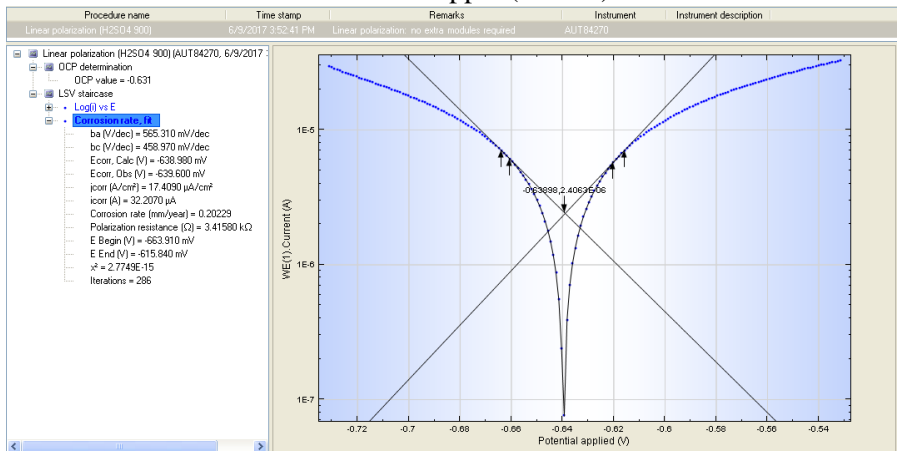
: CH<sub>3</sub>COOH 700ppm (5 hari)



## Larutan elektrolit : CH<sub>3</sub>COOH 900ppm (10 hari)



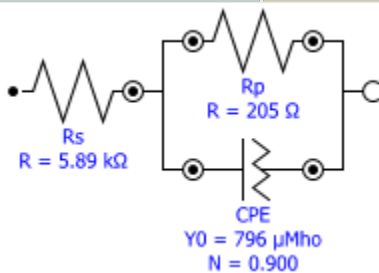
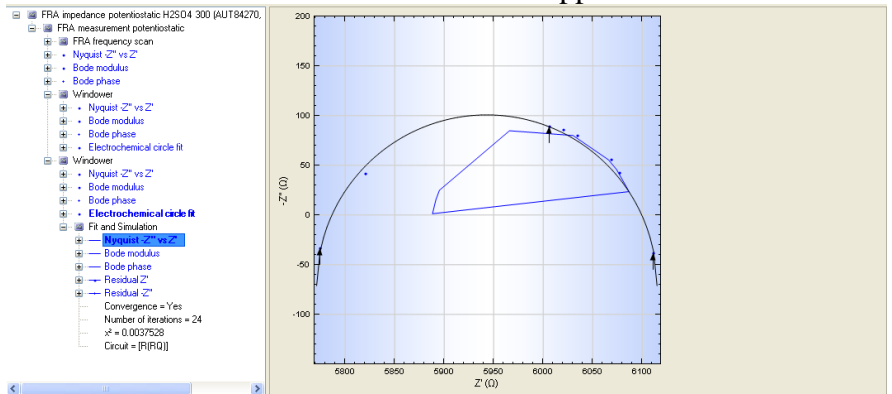
## Larutan elektrolit : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 900ppm (10 hari)



## 6. Hasil pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy

### Hasil Uji Electrochemical Impedance Spectroscopy

Nama sampel : H2SO4 300  
 Frekuensi : 0,01 – 100000 Hz  
 Amplitudo : 0.005 V  
 Larutan : H2SO4 300ppm



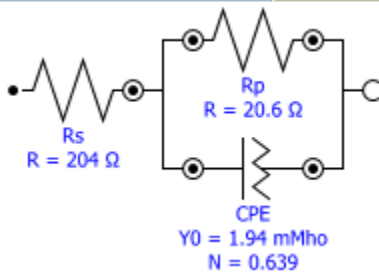
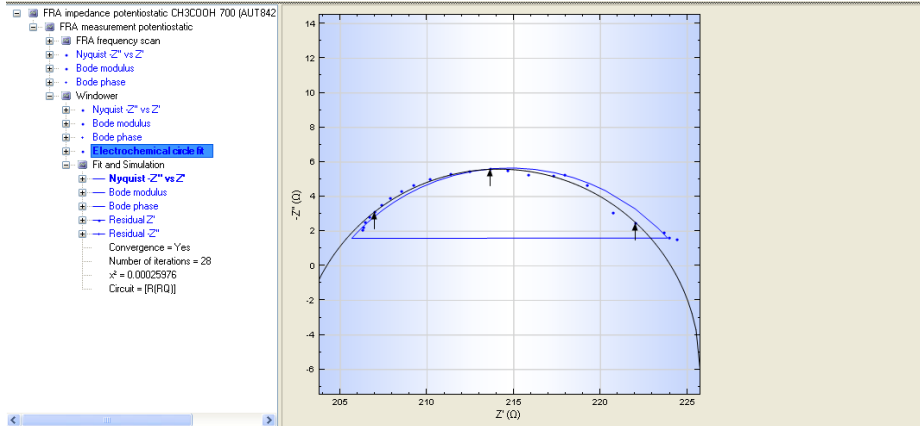
# Hasil Uji Electrochemical Impedance Spectroscopy

Nama sampel : CH<sub>3</sub>COOH 700

Frekuensi : 0,01 – 100000 Hz

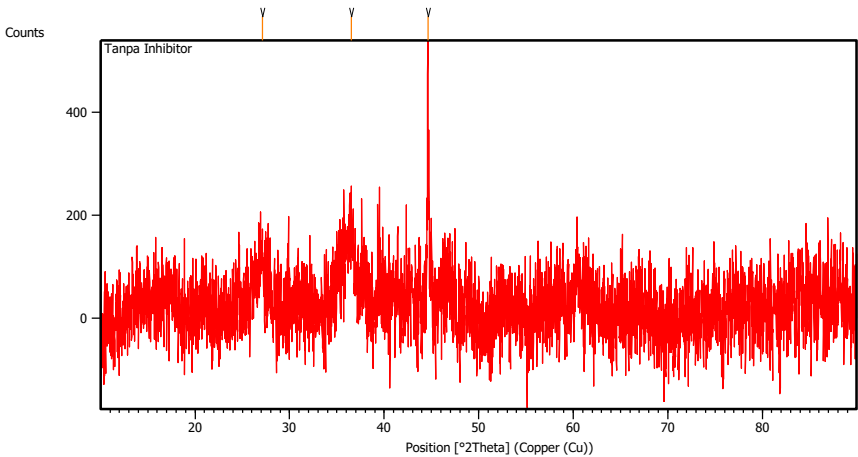
Amplitudo : 0.005 V

Larutan : CH<sub>3</sub>COOH 700ppm



7. Hasil Uji XRD  
a. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Tanpa Inhibitor

Main Graphics, Analyze View: *(Bookmark 2)*

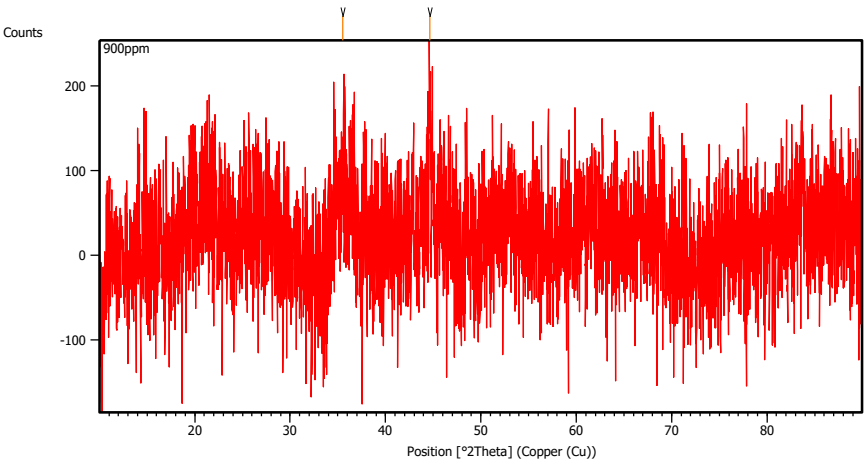


Peak List: *(Bookmark 3)*

| Pos.<br>[°2Th.] | Height<br>[cts] | FWHM Left<br>[°2Th.] | d-spacing<br>[Å] | Rel. Int.<br>[%] |
|-----------------|-----------------|----------------------|------------------|------------------|
| 27.0982         | 46.81           | 0.0900               | 3.28796          | 8.84             |
| 36.5569         | 59.49           | 0.0900               | 2.45603          | 11.24            |
| 44.6260         | 529.48          | 0.0612               | 2.02888          | 100.00           |

**b. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan penambahan inhibitor 900 ppm**

Main Graphics, Analyze View: *(Bookmark 2)*



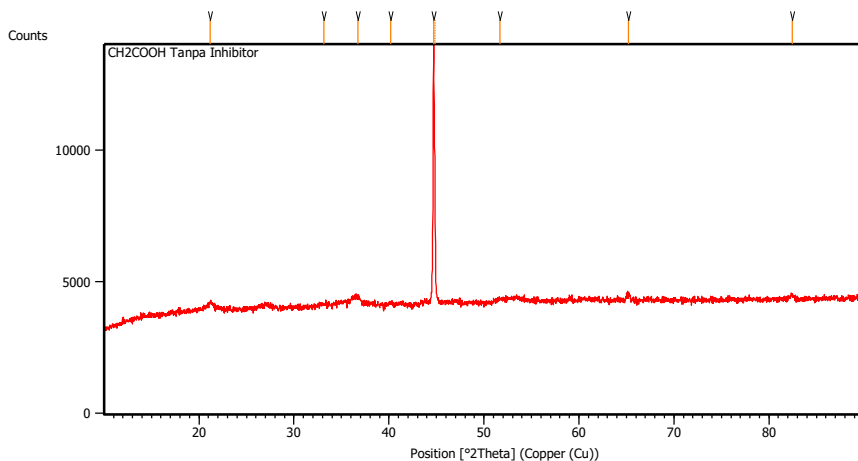
Peak List: *(Bookmark 3)*

| Pos.<br>[°2Th.] | Height<br>[cts] | FWHM Left<br>[°2Th.] | d-spacing<br>[Å] | Rel. Int.<br>[%] |
|-----------------|-----------------|----------------------|------------------|------------------|
| 35.5059         | 94.58           | 0.0900               | 2.52629          | 57.29            |
| 44.6240         | 165.08          | 0.2040               | 2.02897          | 100.00           |



### c. CH<sub>3</sub>COOH Tanpa Inhibitor

Main Graphics, Analyze View: (*Bookmark 2*)



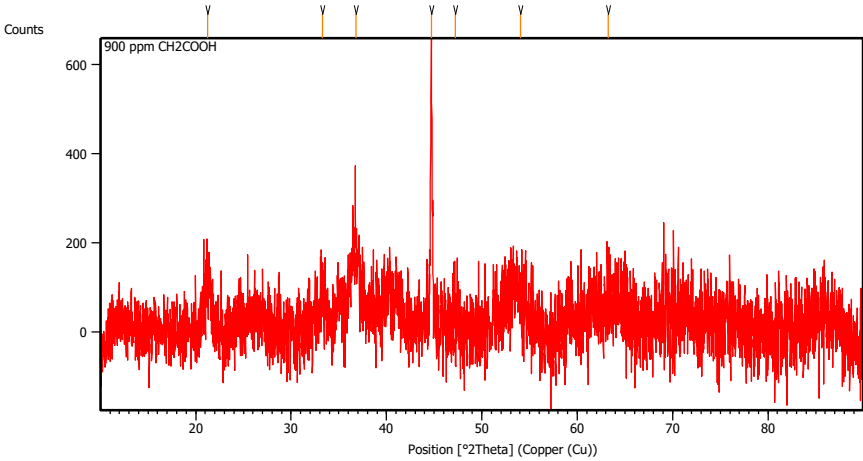
Peak List: (*Bookmark 3*)

| Pos.<br>[°2Th.] | Height<br>[cts] | FWHM Left<br>[°2Th.] | d-spacing<br>[Å] | Rel. Int.<br>[%] |
|-----------------|-----------------|----------------------|------------------|------------------|
| 21.1845         | 289.76          | 0.2676               | 4.19401          | 2.96             |
| 33.1157         | 75.46           | 0.8029               | 2.70520          | 0.77             |
| 36.7167         | 209.26          | 0.8029               | 2.44774          | 2.14             |
| 40.1900         | 63.82           | 0.4015               | 2.24385          | 0.65             |
| 44.7050         | 9799.12         | 0.1020               | 2.02548          | 100.00           |
| 44.8371         | 5263.11         | 0.0612               | 2.02484          | 53.71            |

|         |        |        |         |      |
|---------|--------|--------|---------|------|
| 51.6535 | 70.41  | 0.9792 | 1.76815 | 0.72 |
| 65.2165 | 200.96 | 0.4896 | 1.42941 | 2.05 |
| 82.4392 | 167.87 | 0.4896 | 1.16898 | 1.71 |

**d. CH<sub>3</sub>COOH dengan penambahan inhibitor 900 ppm**

Main Graphics, Analyze View: [\(Bookmark 2\)](#)



Peak List: [\(Bookmark 3\)](#)

| Pos.<br>[°2Th.] | Height<br>[cts] | FWHM Left<br>[°2Th.] | d-spacing<br>[Å] | Rel. Int.<br>[%] |
|-----------------|-----------------|----------------------|------------------|------------------|
| 21.2251         | 107.44          | 0.8029               | 4.18609          | 19.44            |
| 33.2693         | 74.87           | 0.8029               | 2.69306          | 13.54            |

|         |        |        |         |        |
|---------|--------|--------|---------|--------|
| 36.8204 | 168.76 | 0.5353 | 2.44108 | 30.53  |
| 44.6967 | 552.80 | 0.2007 | 2.02752 | 100.00 |
| 47.2342 | 355.15 | 0.0900 | 1.92276 | 64.25  |
| 54.0393 | 363.15 | 0.0900 | 1.69559 | 65.69  |
| 63.2263 | 384.15 | 0.0900 | 1.46953 | 69.49  |

## 8. PDF Card

### 8.1 Lingkungan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Tanpa Inhibitor

#### a. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

PDF#26-1136: QM=Doubtful(?); d=Other/Unknown;  
I=(Unknown)

Iron Oxide

Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

Radiation=CuKα1 Lambda=1.5406 Filter=

Calibration= d-Cutoff= I/Ic(RIR)=

Ref= Level-1 PDF

Cubic, Fd-3m(227) Z=8 mp=

Cell=8.09x8.09x8.09<90x90x90> Pearson=

Density(c)=5.15Density(m)= Mwt= Vol=

Ref= Ibid.

Strong Line: 2.44/X 1.43/5 1.56/4 2.86/3 2.02/3 1.65/2 4.67/1  
2.34/1

| d(A)  | I(f)  | I(v)  | h | k | l | n^2 | 2-Theta | Theta  | 1/(2d) | 2pi/d  |
|-------|-------|-------|---|---|---|-----|---------|--------|--------|--------|
| 2.439 | 100.0 | 100.0 | 3 | 1 | 1 | 11  | 36.820  | 18.410 | 0.2050 | 2.5761 |
| 1.430 | 50.0  | 85.0  | 4 | 4 | 0 | 32  | 65.185  | 32.592 | 0.3497 | 4.3938 |
| 1.557 | 40.0  | 63.0  | 5 | 1 | 1 | 27  | 59.303  | 29.651 | 0.3211 | 4.0354 |
| 2.860 | 30.0  | 26.0  | 2 | 2 | 0 | 8   | 31.249  | 15.624 | 0.1748 | 2.1969 |

|       |      |      |   |   |   |    |        |        |        |        |
|-------|------|------|---|---|---|----|--------|--------|--------|--------|
| 2.023 | 30.0 | 36.0 | 4 | 0 | 0 | 16 | 44.762 | 22.381 | 0.2472 | 3.1059 |
| 1.651 | 20.0 | 30.0 | 4 | 2 | 2 | 24 | 55.622 | 27.811 | 0.3028 | 3.8057 |
| 4.670 | 10.0 | 5.0  | 1 | 1 | 1 | 3  | 18.988 | 9.494  | 0.1071 | 1.3454 |
| 2.335 | 10.0 | 10.0 | 2 | 2 | 2 | 12 | 38.524 | 19.262 | 0.2141 | 2.6909 |
| 1.234 | 10.0 | 20.0 | 5 | 3 | 3 | 43 | 77.249 | 38.625 | 0.4052 | 5.0917 |

## b. FeOOH

PDF#26-0792: QM=Intermediate; d=Other/Unknown;  
I=(Unknown)

Iron Oxide Hydroxide

FeOOH

Radiation=CuKα1 Lambda=1.5406 Filter=

Calibration= d-Cutoff= I/Ic(RIR)=

Ref= Level-1 PDF

Orthorhombic, P21nm(31) Z=2 mp=

Cell=4.937x4.432x2.994<90x90x90> Pearson=

Density(c)=4.504 Density(m)= Mwt= Vol=

Ref= Ibid.

Strong Line: 3.30/X 1.67/X 2.48/X 1.75/X 2.21/8 2.15/8 2.55/8  
1.44/8

| d(A)  | I(f)  | I(v)  | h | k | l | n^2 | 2-Theta | Theta  | 1/(2d) | 2pi/d  |
|-------|-------|-------|---|---|---|-----|---------|--------|--------|--------|
| 3.301 | 100.0 | 51.0  | 1 | 1 | 0 |     | 26.988  | 13.494 | 0.1515 | 1.9034 |
| 1.674 | 100.0 | 100.0 | 1 | 2 | 1 |     | 54.793  | 27.396 | 0.2987 | 3.7534 |
| 2.477 | 100.0 | 68.0  | 0 | 1 | 1 |     | 36.236  | 18.118 | 0.2019 | 2.5366 |
| 1.747 | 100.0 | 96.0  | 2 | 1 | 1 |     | 52.325  | 26.162 | 0.2862 | 3.5966 |
| 2.213 | 80.0  | 61.0  | 0 | 2 | 0 |     | 40.739  | 20.369 | 0.2259 | 2.8392 |
| 2.152 | 80.0  | 62.0  | 2 | 1 | 0 |     | 41.947  | 20.974 | 0.2323 | 2.9197 |
| 2.554 | 80.0  | 52.0  | 1 | 0 | 1 |     | 35.107  | 17.554 | 0.1958 | 2.4601 |
| 1.442 | 80.0  | 93.0  | 3 | 0 | 1 |     | 64.576  | 32.288 | 0.3467 | 4.3573 |
| 1.649 | 80.0  | 81.0  | 2 | 2 | 0 |     | 55.695  | 27.847 | 0.3032 | 3.8103 |
| 2.462 | 60.0  | 41.0  | 2 | 0 | 0 |     | 36.464  | 18.232 | 0.2031 | 2.5521 |

|       |      |      |   |   |   |        |        |        |        |
|-------|------|------|---|---|---|--------|--------|--------|--------|
| 2.020 | 60.0 | 50.0 | 1 | 2 | 0 | 44.832 | 22.416 | 0.2475 | 3.1105 |
| 1.496 | 60.0 | 67.0 | 0 | 0 | 2 | 61.981 | 30.990 | 0.3342 | 4.2000 |
| 1.542 | 60.0 | 65.0 | 3 | 1 | 0 | 59.938 | 29.969 | 0.3243 | 4.0747 |
| 1.418 | 60.0 | 71.0 | 0 | 1 | 2 | 65.806 | 32.903 | 0.3526 | 4.4310 |
| 1.780 | 40.0 | 38.0 | 0 | 2 | 1 | 51.283 | 25.642 | 0.2809 | 3.5299 |
| 4.446 | 20.0 | 8.0  | 0 | 1 | 0 | 19.954 | 9.977  | 0.1125 | 1.4132 |

### c. Fe

PDF#06-0696: QM=Star/Calculated; d=Other/Unknown;

I=(Unknown)

Iron, syn

Fe

Radiation=CuK $\alpha$ 1 Lambda=1.5406 Filter=

Calibration= d-Cutoff= I/Ic(RIR)=

Ref= Level-1 PDF

Cubic, Im-3m(229) Z=2 mp=

Cell=2.866x2.866x2.866<90x90x90> Pearson=

Density(c)=7.874 Density(m)= Mwt= Vol=

Ref= Ibid.

Strong Line: 2.03/X 1.17/3 1.43/2 0.91/1 1.01/1 0.83/1

| d(A)  | I(f)  | I(v)  | h | k | l | n^2 | 2-Theta | Theta  | 1/(2d) | 2pi/d  |
|-------|-------|-------|---|---|---|-----|---------|--------|--------|--------|
| 2.026 | 100.0 | 100.0 | 1 | 1 | 0 | 2   | 44.673  | 22.337 | 0.2467 | 3.1001 |
| 1.433 | 20.0  | 28.0  | 2 | 0 | 0 | 4   | 65.021  | 32.511 | 0.3489 | 4.3840 |
| 1.170 | 30.0  | 52.0  | 2 | 1 | 1 | 6   | 82.333  | 41.166 | 0.4273 | 5.3693 |
| 1.013 | 10.0  | 20.0  | 2 | 2 | 0 | 8   | 98.945  | 49.473 | 0.4934 | 6.2001 |
| 0.906 | 12.0  | 27.0  | 3 | 1 | 0 | 10  | 116.385 | 58.192 | 0.5516 | 6.9320 |
| 0.827 | 6.0   | 15.0  | 2 | 2 | 2 | 12  | 137.136 | 68.568 | 0.6042 | 7.5930 |

## 8.2 Lingkungan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan Penambahan Inhibitor 900

ppm

a. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

PDF#39-1346: QM=Star/Calculated; d=Other/Unknown;  
 I=(Unknown)  
 Maghemite-C, syn  
 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
 Radiation=CuKα1 Lambda=1.5406 Filter=  
 Calibration= d-Cutoff= I/Ic(RIR)=1.4  
 Ref= Level-1 PDF

Cubic, P4132(213) Z=10.667 mp=  
 Cell=8.351x8.351x8.351<90x90x90> Pearson=  
 Density(c)=4.90Density(m)= Mwt= Vol=  
 Ref= Ibid.

Strong Line: 2.52/X 2.95/4 1.48/3 1.61/2 2.09/2 1.70/1 1.09/1  
 1.27/1

| d(Å)  | I(f)  | I(v)  | h | k | l | n <sup>2</sup> | 2-Theta | Theta  | 1/(2d) | 2pi/d  |
|-------|-------|-------|---|---|---|----------------|---------|--------|--------|--------|
| 5.918 | 5.0   | 2.0   | 1 | 1 | 0 | 2              | 14.958  | 7.479  | 0.0845 | 1.0617 |
| 4.822 | 4.0   | 2.0   | 1 | 1 | 1 | 3              | 18.384  | 9.192  | 0.1037 | 1.3030 |
| 3.740 | 5.0   | 3.0   | 2 | 1 | 0 | 5              | 23.771  | 11.886 | 0.1337 | 1.6800 |
| 3.411 | 5.0   | 4.0   | 2 | 1 | 1 | 6              | 26.102  | 13.051 | 0.1466 | 1.8420 |
| 2.953 | 35.0  | 30.0  | 2 | 2 | 0 | 8              | 30.241  | 15.120 | 0.1693 | 2.1277 |
| 2.784 | 2.0   | 2.0   | 2 | 2 | 1 | 9              | 32.124  | 16.062 | 0.1796 | 2.2569 |
| 2.643 | 2.0   | 2.0   | 3 | 1 | 0 | 10             | 33.882  | 16.941 | 0.1891 | 2.3768 |
| 2.517 | 100.0 | 100.0 | 3 | 1 | 1 | 11             | 35.630  | 17.815 | 0.1986 | 2.4956 |
| 2.411 | 3.0   | 3.0   | 2 | 2 | 2 | 12             | 37.249  | 18.625 | 0.2073 | 2.6051 |
| 2.316 | 1.0   | 1.0   | 3 | 2 | 0 | 13             | 38.847  | 19.423 | 0.2159 | 2.7126 |
| 2.232 | 1.0   | 1.0   | 3 | 2 | 1 | 14             | 40.377  | 20.188 | 0.2240 | 2.8150 |
| 2.088 | 16.0  | 19.0  | 4 | 0 | 0 | 16             | 43.284  | 21.642 | 0.2394 | 3.0083 |
| 2.025 | 1.0   | 1.0   | 4 | 1 | 0 | 17             | 44.703  | 22.352 | 0.2469 | 3.1020 |
| 1.968 | 1.0   | 1.0   | 3 | 3 | 0 | 18             | 46.071  | 23.036 | 0.2540 | 3.1919 |
| 1.822 | 2.0   | 3.0   | 4 | 2 | 1 | 21             | 50.007  | 25.003 | 0.2744 | 3.4478 |
| 1.704 | 10.0  | 15.0  | 4 | 2 | 2 | 24             | 53.733  | 26.866 | 0.2933 | 3.6862 |
| 1.670 | 1.0   | 2.0   | 4 | 3 | 0 | 25             | 54.924  | 27.462 | 0.2993 | 3.7617 |

|       |      |      |   |   |   |    |        |        |        |        |
|-------|------|------|---|---|---|----|--------|--------|--------|--------|
| 1.637 | 1.0  | 2.0  | 5 | 1 | 0 | 26 | 56.106 | 28.053 | 0.3053 | 3.8361 |
| 1.607 | 24.0 | 38.0 | 5 | 1 | 1 | 27 | 57.271 | 28.636 | 0.3111 | 3.9092 |
| 1.550 | 1.0  | 2.0  | 5 | 2 | 0 | 29 | 59.568 | 29.784 | 0.3224 | 4.0518 |
| 1.524 | 2.0  | 3.0  | 5 | 2 | 1 | 30 | 60.685 | 30.342 | 0.3279 | 4.1207 |
| 1.475 | 34.0 | 58.0 | 4 | 4 | 0 | 32 | 62.925 | 31.463 | 0.3388 | 4.2575 |
| 1.453 | 1.0  | 2.0  | 4 | 4 | 1 | 33 | 63.994 | 31.997 | 0.3439 | 4.3222 |
| 1.432 | 1.0  | 2.0  | 5 | 3 | 0 | 34 | 65.072 | 32.536 | 0.3491 | 4.3871 |
| 1.391 | 1.0  | 2.0  | 4 | 4 | 2 | 36 | 67.201 | 33.601 | 0.3592 | 4.5141 |
| 1.373 | 1.0  | 2.0  | 6 | 1 | 0 | 37 | 68.253 | 34.126 | 0.3642 | 4.5762 |
| 1.354 | 1.0  | 2.0  | 6 | 1 | 1 | 38 | 69.305 | 34.653 | 0.3691 | 4.6381 |
| 1.320 | 3.0  | 6.0  | 6 | 2 | 0 | 40 | 71.376 | 35.688 | 0.3787 | 4.7585 |
| 1.304 | 1.0  | 2.0  | 5 | 4 | 0 | 41 | 72.401 | 36.201 | 0.3834 | 4.8177 |
| 1.273 | 5.0  | 10.0 | 5 | 3 | 3 | 43 | 74.471 | 37.235 | 0.3928 | 4.9357 |
| 1.259 | 2.0  | 4.0  | 6 | 2 | 2 | 44 | 75.442 | 37.721 | 0.3971 | 4.9906 |
| 1.245 | 1.0  | 2.0  | 6 | 3 | 0 | 45 | 76.442 | 38.221 | 0.4016 | 5.0467 |
| 1.231 | 1.0  | 2.0  | 6 | 3 | 1 | 46 | 77.442 | 38.721 | 0.4060 | 5.1025 |
| 1.205 | 1.0  | 2.0  | 4 | 4 | 4 | 48 | 79.446 | 39.723 | 0.4148 | 5.2130 |
| 1.193 | 1.0  | 2.0  | 6 | 3 | 2 | 49 | 80.423 | 40.212 | 0.4191 | 5.2663 |
| 1.181 | 1.0  | 2.0  | 7 | 1 | 0 | 50 | 81.419 | 40.710 | 0.4234 | 5.3202 |
| 1.136 | 1.0  | 2.0  | 7 | 2 | 1 | 54 | 85.338 | 42.669 | 0.4399 | 5.5285 |
| 1.115 | 2.0  | 5.0  | 6 | 4 | 2 | 56 | 87.304 | 43.652 | 0.4481 | 5.6306 |
| 1.096 | 1.0  | 2.0  | 7 | 3 | 0 | 58 | 89.244 | 44.622 | 0.4560 | 5.7297 |
| 1.087 | 7.0  | 16.0 | 7 | 3 | 1 | 59 | 90.226 | 45.113 | 0.4599 | 5.7792 |
| 1.043 | 3.0  | 7.0  | 8 | 0 | 0 | 64 | 95.103 | 47.552 | 0.4790 | 6.0190 |

## b. Fe

PDF#06-0696: QM=Star/Calculated; d=Other/Unknown;

I=(Unknown)

Iron, syn

Fe

Radiation=CuKα1

Lambda=1.5406

Filter=

Calibration= d-Cutoff= I/Ic(RIR)=

Ref= Level-1 PDF

Cubic, Im-3m(229) Z=2 mp=  
 Cell=2.866x2.866x2.866<90x90x90> Pearson=  
 Density(c)=7.874 Density(m)= Mwt= Vol=  
 Ref= Ibid.

Strong Line: 2.03/X 1.17/3 1.43/2 0.91/1 1.01/1 0.83/1

| d(A)  | I(f)  | I(v)  | h | k | l | n^2 | 2-Theta | Theta  | 1/(2d) | 2pi/d  |
|-------|-------|-------|---|---|---|-----|---------|--------|--------|--------|
| 2.026 | 100.0 | 100.0 | 1 | 1 | 0 | 2   | 44.673  | 22.337 | 0.2467 | 3.1001 |
| 1.433 | 20.0  | 28.0  | 2 | 0 | 0 | 4   | 65.021  | 32.511 | 0.3489 | 4.3840 |
| 1.170 | 30.0  | 52.0  | 2 | 1 | 1 | 6   | 82.333  | 41.166 | 0.4273 | 5.3693 |
| 1.013 | 10.0  | 20.0  | 2 | 2 | 0 | 8   | 98.945  | 49.473 | 0.4934 | 6.2001 |
| 0.906 | 12.0  | 27.0  | 3 | 1 | 0 | 10  | 116.385 | 58.192 | 0.5516 | 6.9320 |
| 0.827 | 6.0   | 15.0  | 2 | 2 | 2 | 12  | 137.136 | 68.568 | 0.6042 | 7.5930 |

### 8.3 Lingkungan CH<sub>3</sub>COOH Tanpa Inhibitor

#### a. Fe<sup>+3</sup>O(OH)

PDF#29-0713: QM=Star/Calculated; d=Other/Unknown;  
 I=(Unknown)

Goethite

Fe+3O(OH)

Radiation=CuKα1 Lambda=1.5406 Filter=

Calibration= d-Cutoff= I/Ic(RIR)=

Ref= Level-1 PDF

Orthorhombic, Pbnm(62) Z=4 mp=  
 Cell=4.608x9.956x3.022<90x90x90> Pearson=  
 Density(c)=4.00Density(m)= Mwt= Vol=  
 Ref= Ibid.

Strong Line: 4.18/X 2.45/5 2.69/4 1.72/2 2.19/2 2.25/1 4.98/1  
 2.58/1

| d(A) | I(f) | I(v) | h | k | l | n^2 | 2-Theta | Theta | 1/(2d) | 2pi/d |
|------|------|------|---|---|---|-----|---------|-------|--------|-------|
|------|------|------|---|---|---|-----|---------|-------|--------|-------|



|       |       |       |   |   |   |        |        |        |        |
|-------|-------|-------|---|---|---|--------|--------|--------|--------|
| 4.183 | 100.0 | 100.0 | 1 | 1 | 0 | 21.223 | 10.611 | 0.1195 | 1.5021 |
| 2.450 | 50.0  | 85.0  | 1 | 1 | 1 | 36.649 | 18.325 | 0.2041 | 2.5646 |
| 2.693 | 35.0  | 54.0  | 1 | 3 | 0 | 33.241 | 16.620 | 0.1857 | 2.3332 |
| 1.719 | 20.0  | 49.0  | 2 | 2 | 1 | 53.237 | 26.618 | 0.2908 | 3.6547 |
| 2.190 | 18.0  | 34.0  | 1 | 4 | 0 | 41.186 | 20.593 | 0.2283 | 2.8690 |
| 2.253 | 14.0  | 26.0  | 1 | 2 | 1 | 39.984 | 19.992 | 0.2219 | 2.7888 |
| 4.980 | 12.0  | 10.0  | 0 | 2 | 0 | 17.796 | 8.898  | 0.1004 | 1.2617 |
| 2.583 | 12.0  | 19.0  | 0 | 2 | 1 | 34.700 | 17.350 | 0.1936 | 2.4325 |
| 2.489 | 10.0  | 17.0  | 0 | 4 | 0 | 36.055 | 18.028 | 0.2009 | 2.5244 |
| 3.383 | 10.0  | 12.0  | 1 | 2 | 0 | 26.322 | 13.161 | 0.1478 | 1.8573 |
| 1.563 | 10.0  | 27.0  | 1 | 5 | 1 | 59.023 | 29.512 | 0.3198 | 4.0182 |
| 1.561 | 8.0   | 21.0  | 1 | 6 | 0 | 59.119 | 29.559 | 0.3202 | 4.0241 |
| 1.509 | 8.0   | 22.0  | 0 | 0 | 2 | 61.384 | 30.692 | 0.3313 | 4.1635 |
| 1.802 | 6.0   | 14.0  | 2 | 1 | 1 | 50.613 | 25.306 | 0.2775 | 3.4868 |
| 1.690 | 6.0   | 15.0  | 2 | 4 | 0 | 54.210 | 27.105 | 0.2958 | 3.7165 |
| 1.920 | 5.0   | 11.0  | 0 | 4 | 1 | 47.305 | 23.652 | 0.2604 | 3.2725 |
| 1.454 | 5.0   | 14.0  | 0 | 6 | 1 | 63.974 | 31.987 | 0.3439 | 4.3210 |
| 2.527 | 4.0   | 7.0   | 1 | 0 | 1 | 35.495 | 17.747 | 0.1979 | 2.4864 |
| 1.603 | 4.0   | 10.0  | 2 | 3 | 1 | 57.412 | 28.706 | 0.3118 | 3.9179 |
| 1.659 | 3.0   | 8.0   | 0 | 6 | 0 | 55.319 | 27.660 | 0.3013 | 3.7866 |
| 1.317 | 3.0   | 10.0  | 1 | 3 | 2 | 71.569 | 35.785 | 0.3796 | 4.7697 |
| 1.359 | 3.0   | 9.0   | 1 | 7 | 0 | 69.055 | 34.527 | 0.3679 | 4.6234 |
| 1.393 | 3.0   | 9.0   | 3 | 3 | 0 | 67.109 | 33.554 | 0.3588 | 4.5086 |
| 2.011 | 2.0   | 4.0   | 1 | 3 | 1 | 45.043 | 22.522 | 0.2486 | 3.1244 |
| 1.420 | 2.0   | 6.0   | 1 | 1 | 2 | 65.665 | 32.832 | 0.3519 | 4.4226 |
| 1.369 | 2.0   | 6.0   | 3 | 0 | 1 | 68.457 | 34.228 | 0.3651 | 4.5883 |
| 1.467 | 2.0   | 6.0   | 3 | 2 | 0 | 63.322 | 31.661 | 0.3407 | 4.2816 |
| 2.089 | 1.0   | 2.0   | 2 | 2 | 0 | 43.275 | 21.637 | 0.2393 | 3.0077 |
| 2.303 | 1.0   | 2.0   | 2 | 0 | 0 | 39.080 | 19.540 | 0.2171 | 2.7283 |
| 1.345 | 1.0   | 3.0   | 2 | 6 | 0 | 69.824 | 34.912 | 0.3715 | 4.6684 |
| 1.772 | 1.0   | 2.0   | 1 | 4 | 1 | 51.507 | 25.753 | 0.2820 | 3.5442 |
| 1.292 | 1.0   | 3.0   | 0 | 4 | 2 | 73.189 | 36.594 | 0.3870 | 4.8628 |
| 1.265 | 1.0   | 3.0   | 3 | 3 | 1 | 74.995 | 37.497 | 0.3951 | 4.9654 |
| 1.243 | 1.0   | 3.0   | 1 | 4 | 2 | 76.537 | 38.268 | 0.4020 | 5.0520 |

|       |     |     |   |   |   |        |        |        |        |
|-------|-----|-----|---|---|---|--------|--------|--------|--------|
| 1.199 | 1.0 | 3.0 | 3 | 4 | 1 | 79.915 | 39.958 | 0.4169 | 5.2386 |
| 1.150 | 1.0 | 4.0 | 0 | 8 | 1 | 84.051 | 42.025 | 0.4346 | 5.4608 |
| 1.144 | 1.0 | 4.0 | 4 | 1 | 0 | 84.602 | 42.301 | 0.4369 | 5.4899 |
| 1.126 | 1.0 | 4.0 | 2 | 4 | 2 | 86.299 | 43.149 | 0.4439 | 5.5786 |

## b. Fe

PDF#06-0696: QM=Star/Calculated; d=Other/Unknown;

I=(Unknown)

Iron, syn

Fe

Radiation=CuKα1 Lambda=1.5406 Filter=

Calibration= d-Cutoff= I/Ic(RIR)=

Ref= Level-1 PDF

Cubic, Im-3m(229) Z=2 mp=

Cell=2.866x2.866x2.866<90x90x90> Pearson=

Density(c)=7.874 Density(m)= Mwt= Vol=

Ref= Ibid.

Strong Line: 2.03/X 1.17/3 1.43/2 0.91/1 1.01/1 0.83/1

| d(A)  | I(f)  | I(v)  | h | k | l | n <sup>2</sup> | 2-Theta | Theta  | 1/(2d) | 2pi/d  |
|-------|-------|-------|---|---|---|----------------|---------|--------|--------|--------|
| 2.026 | 100.0 | 100.0 | 1 | 1 | 0 | 2              | 44.673  | 22.337 | 0.2467 | 3.1001 |
| 1.433 | 20.0  | 28.0  | 2 | 0 | 0 | 4              | 65.021  | 32.511 | 0.3489 | 4.3840 |
| 1.170 | 30.0  | 52.0  | 2 | 1 | 1 | 6              | 82.333  | 41.166 | 0.4273 | 5.3693 |
| 1.013 | 10.0  | 20.0  | 2 | 2 | 0 | 8              | 98.945  | 49.473 | 0.4934 | 6.2001 |
| 0.906 | 12.0  | 27.0  | 3 | 1 | 0 | 10             | 116.385 | 58.192 | 0.5516 | 6.9320 |
| 0.827 | 6.0   | 15.0  | 2 | 2 | 2 | 12             | 137.136 | 68.568 | 0.6042 | 7.5930 |

## c. . FeOOH

PDF#26-0792: QM=Intermediate; d=Other/Unknown;

I=(Unknown)

Iron Oxide Hydroxide

FeOOH

Radiation=CuK $\alpha$ 1      Lambda=1.5406      Filter=  
 Calibration=    d-Cutoff=      I/Ic(RIR)=  
 Ref= Level-1 PDF

Orthorhombic, P2<sub>1</sub>nm(31)      Z=2      mp=  
 Cell=4.937x4.432x2.994<90x90x90>      Pearson=  
 Density(c)=4.504      Density(m)=      Mwt=    Vol=  
 Ref= Ibid.

Strong Line: 3.30/X 1.67/X 2.48/X 1.75/X 2.21/8 2.15/8 2.55/8  
 1.44/8

| d(A)  | I(f)  | I(v)  | h | k | l | n <sup>2</sup> | 2-Theta | Theta  | 1/(2d) | 2pi/d  |
|-------|-------|-------|---|---|---|----------------|---------|--------|--------|--------|
| 3.301 | 100.0 | 51.0  | 1 | 1 | 0 |                | 26.988  | 13.494 | 0.1515 | 1.9034 |
| 1.674 | 100.0 | 100.0 | 1 | 2 | 1 |                | 54.793  | 27.396 | 0.2987 | 3.7534 |
| 2.477 | 100.0 | 68.0  | 0 | 1 | 1 |                | 36.236  | 18.118 | 0.2019 | 2.5366 |
| 1.747 | 100.0 | 96.0  | 2 | 1 | 1 |                | 52.325  | 26.162 | 0.2862 | 3.5966 |
| 2.213 | 80.0  | 61.0  | 0 | 2 | 0 |                | 40.739  | 20.369 | 0.2259 | 2.8392 |
| 2.152 | 80.0  | 62.0  | 2 | 1 | 0 |                | 41.947  | 20.974 | 0.2323 | 2.9197 |
| 2.554 | 80.0  | 52.0  | 1 | 0 | 1 |                | 35.107  | 17.554 | 0.1958 | 2.4601 |
| 1.442 | 80.0  | 93.0  | 3 | 0 | 1 |                | 64.576  | 32.288 | 0.3467 | 4.3573 |
| 1.649 | 80.0  | 81.0  | 2 | 2 | 0 |                | 55.695  | 27.847 | 0.3032 | 3.8103 |
| 2.462 | 60.0  | 41.0  | 2 | 0 | 0 |                | 36.464  | 18.232 | 0.2031 | 2.5521 |
| 2.020 | 60.0  | 50.0  | 1 | 2 | 0 |                | 44.832  | 22.416 | 0.2475 | 3.1105 |
| 1.496 | 60.0  | 67.0  | 0 | 0 | 2 |                | 61.981  | 30.990 | 0.3342 | 4.2000 |
| 1.542 | 60.0  | 65.0  | 3 | 1 | 0 |                | 59.938  | 29.969 | 0.3243 | 4.0747 |
| 1.418 | 60.0  | 71.0  | 0 | 1 | 2 |                | 65.806  | 32.903 | 0.3526 | 4.4310 |
| 1.780 | 40.0  | 38.0  | 0 | 2 | 1 |                | 51.283  | 25.642 | 0.2809 | 3.5299 |
| 4.446 | 20.0  | 8.0   | 0 | 1 | 0 |                | 19.954  | 9.977  | 0.1125 | 1.4132 |

#### d. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

PDF#52-1449:      QM=Star/Calculated;      d=Other/Unknown;  
 I=(Unknown)  
 Iron Oxide

Fe2O3

Radiation=CuKα1      Lambda=1.5406      Filter=

Calibration=      d-Cutoff=      I/Ic(RIR)=

Ref= Level-1 PDF

Orthorhombic, Pna21(33)      Z=8      mp=

Cell=5.095x8.789x9.437<90x90x90>      Pearson=

Density(c)=5.02Density(m)=      Mwt=      Vol=

Ref= Ibid.

Strong Line: 2.72/X 1.52/9 2.45/8 1.47/7 2.54/5 1.73/5 3.22/5  
2.24/4

| d(A)  | I(f)  | I(v)  | h | k | l | n^2 | 2-Theta | Theta  | 1/(2d) | 2pi/d  |
|-------|-------|-------|---|---|---|-----|---------|--------|--------|--------|
| 2.718 | 100.0 | 65.0  | 1 | 2 | 2 |     | 32.926  | 16.463 | 0.1840 | 2.3117 |
| 1.518 | 86.0  | 100.0 | 2 | 0 | 5 |     | 60.986  | 30.493 | 0.3294 | 4.1391 |
| 2.451 | 84.0  | 60.0  | 1 | 3 | 1 |     | 36.634  | 18.317 | 0.2040 | 2.5635 |
| 1.469 | 66.0  | 79.0  | 2 | 4 | 3 |     | 63.250  | 31.625 | 0.3404 | 4.2772 |
| 2.541 | 50.0  | 35.0  | 2 | 0 | 0 |     | 35.293  | 17.646 | 0.1968 | 2.4727 |
| 1.732 | 48.0  | 49.0  | 1 | 1 | 5 |     | 52.813  | 26.406 | 0.2887 | 3.6277 |
| 3.216 | 48.0  | 26.0  | 1 | 1 | 2 |     | 27.716  | 13.858 | 0.1555 | 1.9537 |
| 2.237 | 44.0  | 35.0  | 2 | 0 | 2 |     | 40.283  | 20.141 | 0.2235 | 2.8088 |
| 2.962 | 34.0  | 20.0  | 0 | 1 | 3 |     | 30.147  | 15.073 | 0.1688 | 2.1213 |
| 1.535 | 30.0  | 34.0  | 0 | 5 | 3 |     | 60.240  | 30.120 | 0.3257 | 4.0933 |
| 1.341 | 24.0  | 32.0  | 2 | 0 | 6 |     | 70.116  | 35.058 | 0.3729 | 4.6854 |
| 1.977 | 20.0  | 18.0  | 2 | 0 | 3 |     | 45.862  | 22.931 | 0.2529 | 3.1781 |
| 1.573 | 16.0  | 18.0  | 0 | 0 | 6 |     | 58.640  | 29.320 | 0.3179 | 3.9944 |
| 1.992 | 16.0  | 14.0  | 2 | 2 | 2 |     | 45.497  | 22.748 | 0.2510 | 3.1542 |
| 2.285 | 12.0  | 9.0   | 1 | 2 | 3 |     | 39.401  | 19.700 | 0.2188 | 2.7498 |
| 1.415 | 12.0  | 15.0  | 3 | 2 | 3 |     | 65.963  | 32.981 | 0.3534 | 4.4404 |
| 2.172 | 11.0  | 9.0   | 2 | 1 | 2 |     | 41.543  | 20.771 | 0.2302 | 2.8928 |
| 2.561 | 10.0  | 7.0   | 1 | 1 | 3 |     | 35.008  | 17.504 | 0.1952 | 2.4534 |
| 1.312 | 10.0  | 13.0  | 2 | 5 | 3 |     | 71.903  | 35.952 | 0.3811 | 4.7890 |
| 3.326 | 9.0   | 5.0   | 1 | 2 | 0 |     | 26.782  | 13.391 | 0.1503 | 1.8891 |

|       |     |     |   |   |   |        |        |        |        |
|-------|-----|-----|---|---|---|--------|--------|--------|--------|
| 1.932 | 9.0 | 8.0 | 2 | 1 | 3 | 46.993 | 23.497 | 0.2588 | 3.2522 |
| 2.018 | 7.0 | 6.0 | 1 | 4 | 0 | 44.879 | 22.439 | 0.2478 | 3.1136 |
| 1.383 | 7.0 | 9.0 | 2 | 5 | 2 | 67.692 | 33.846 | 0.3615 | 4.5432 |

### e. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

PDF#26-1136: QM=Doubtful(?); d=Other/Unknown;  
I=(Unknown)

Iron Oxide

Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

Radiation=CuKα1 Lambda=1.5406 Filter=

Calibration= d-Cutoff= I/Ic(RIR)=

Ref= Level-1 PDF

Cubic, Fd-3m(227) Z=8 mp=

Cell=8.09x8.09x8.09<90x90x90> Pearson=

Density(c)=5.15Density(m)= Mwt= Vol=

Ref= Ibid.

Strong Line: 2.44/X 1.43/5 1.56/4 2.86/3 2.02/3 1.65/2 4.67/1  
2.34/1

| d(A)  | I(f)  | I(v)  | h | k | l | n <sup>2</sup> | 2-Theta | Theta  | 1/(2d) | 2pi/d  |
|-------|-------|-------|---|---|---|----------------|---------|--------|--------|--------|
| 2.439 | 100.0 | 100.0 | 3 | 1 | 1 | 11             | 36.820  | 18.410 | 0.2050 | 2.5761 |
| 1.430 | 50.0  | 85.0  | 4 | 4 | 0 | 32             | 65.185  | 32.592 | 0.3497 | 4.3938 |
| 1.557 | 40.0  | 63.0  | 5 | 1 | 1 | 27             | 59.303  | 29.651 | 0.3211 | 4.0354 |
| 2.860 | 30.0  | 26.0  | 2 | 2 | 0 | 8              | 31.249  | 15.624 | 0.1748 | 2.1969 |
| 2.023 | 30.0  | 36.0  | 4 | 0 | 0 | 16             | 44.762  | 22.381 | 0.2472 | 3.1059 |
| 1.651 | 20.0  | 30.0  | 4 | 2 | 2 | 24             | 55.622  | 27.811 | 0.3028 | 3.8057 |
| 4.670 | 10.0  | 5.0   | 1 | 1 | 1 | 3              | 18.988  | 9.494  | 0.1071 | 1.3454 |
| 2.335 | 10.0  | 10.0  | 2 | 2 | 2 | 12             | 38.524  | 19.262 | 0.2141 | 2.6909 |
| 1.234 | 10.0  | 20.0  | 5 | 3 | 3 | 43             | 77.249  | 38.625 | 0.4052 | 5.0917 |

## 8.4 Lingkungan CH<sub>3</sub>COOH dengan Penambahan Inhibitor 900 ppm

### a. Fe

PDF#06-0696: QM=Star/Calculated; d=Other/Unknown;

I=(Unknown)

Iron, syn

Fe

Radiation=CuKα1 Lambda=1.5406 Filter=

Calibration= d-Cutoff= I/Ic(RIR)=

Ref= Level-1 PDF

Cubic, Im-3m(229) Z=2 mp=

Cell=2.866x2.866x2.866<90x90x90> Pearson=

Density(c)=7.874 Density(m)= Mwt= Vol=

Ref= Ibid.

Strong Line: 2.03/X 1.17/3 1.43/2 0.91/1 1.01/1 0.83/1

| d(A)  | I(f)  | I(v)  | h | k | l | n <sup>2</sup> | 2-Theta | Theta  | 1/(2d) | 2pi/d  |
|-------|-------|-------|---|---|---|----------------|---------|--------|--------|--------|
| 2.026 | 100.0 | 100.0 | 1 | 1 | 0 | 2              | 44.673  | 22.337 | 0.2467 | 3.1001 |
| 1.433 | 20.0  | 28.0  | 2 | 0 | 0 | 4              | 65.021  | 32.511 | 0.3489 | 4.3840 |
| 1.170 | 30.0  | 52.0  | 2 | 1 | 1 | 6              | 82.333  | 41.166 | 0.4273 | 5.3693 |
| 1.013 | 10.0  | 20.0  | 2 | 2 | 0 | 8              | 98.945  | 49.473 | 0.4934 | 6.2001 |
| 0.906 | 12.0  | 27.0  | 3 | 1 | 0 | 10             | 116.385 | 58.192 | 0.5516 | 6.9320 |
| 0.827 | 6.0   | 15.0  | 2 | 2 | 2 | 12             | 137.136 | 68.568 | 0.6042 | 7.5930 |

### b. Fe<sup>+3</sup>O(OH)

PDF#13-0087: QM=Doubtful(?); d=Other/Unknown;

I=(Unknown)

Feroxyhite, syn

Fe+3O(OH)

Radiation=CuKα1 Lambda=1.5406 Filter=

Calibration= d-Cutoff= I/Ic(RIR)=

Ref= Level-1 PDF

Hexagonal, P312(149) Z=1 mp=  
 Cell=2.941x2.941x4.49<90x90x120> Pearson=  
 Density(c)=4.387 Density(m)= Mwt= Vol=  
 Ref= Ibid.

Strong Line: 2.55/X 2.26/X 1.68/X 1.47/X 4.61/2 1.27/2 1.22/2  
 1.10/2

| d(A)  | I(f)  | I(v)  | h | k | l | n^2 | 2-Theta | Theta  | 1/(2d) | 2pi/d  |
|-------|-------|-------|---|---|---|-----|---------|--------|--------|--------|
| 2.545 | 100.0 | 58.0  | 1 | 0 | 0 |     | 35.235  | 17.618 | 0.1965 | 2.4688 |
| 2.255 | 100.0 | 65.0  | 0 | 0 | 2 |     | 39.947  | 19.974 | 0.2217 | 2.7863 |
| 1.685 | 100.0 | 87.0  | 1 | 0 | 2 |     | 54.405  | 27.203 | 0.2967 | 3.7289 |
| 1.471 | 100.0 | 100.0 | 1 | 1 | 0 |     | 63.154  | 31.577 | 0.3399 | 4.2714 |
| 4.610 | 20.0  | 6.0   |   |   |   |     | 19.237  | 9.619  | 0.1085 | 1.3629 |
| 1.271 | 20.0  | 23.0  | 2 | 0 | 0 |     | 74.608  | 37.304 | 0.3934 | 4.9435 |
| 1.223 | 20.0  | 24.0  | 2 | 0 | 1 |     | 78.075  | 39.037 | 0.4088 | 5.1375 |
| 1.104 | 20.0  | 27.0  |   |   |   |     | 88.488  | 44.244 | 0.4529 | 5.6913 |
| 0.965 | 20.0  | 30.0  |   |   |   |     | 105.920 | 52.960 | 0.5181 | 6.5111 |
| 0.943 | 20.0  | 31.0  |   |   |   |     | 109.539 | 54.770 | 0.5302 | 6.6630 |

PDF#29-0713: QM=Star/Calculated; d=Other/Unknown;  
 I=(Unknown)

Goethite

Fe+3O(OH)

Radiation=CuKα1 Lambda=1.5406 Filter=

Calibration= d-Cutoff= I/Ic(RIR)=

Ref= Level-1 PDF

Orthorhombic, Pbnm(62) Z=4 mp=  
 Cell=4.608x9.956x3.022<90x90x90> Pearson=  
 Density(c)=4.00Density(m)= Mwt= Vol=  
 Ref= Ibid.

Strong Line: 4.18/X 2.45/5 2.69/4 1.72/2 2.19/2 2.25/1 4.98/1  
2.58/1

| d(A)  | I(f)  | I(v)  | h | k | l | n^2 | 2-Theta | Theta  | 1/(2d) | 2pi/d  |
|-------|-------|-------|---|---|---|-----|---------|--------|--------|--------|
| 4.183 | 100.0 | 100.0 | 1 | 1 | 0 |     | 21.223  | 10.611 | 0.1195 | 1.5021 |
| 2.450 | 50.0  | 85.0  | 1 | 1 | 1 |     | 36.649  | 18.325 | 0.2041 | 2.5646 |
| 2.693 | 35.0  | 54.0  | 1 | 3 | 0 |     | 33.241  | 16.620 | 0.1857 | 2.3332 |
| 1.719 | 20.0  | 49.0  | 2 | 2 | 1 |     | 53.237  | 26.618 | 0.2908 | 3.6547 |
| 2.190 | 18.0  | 34.0  | 1 | 4 | 0 |     | 41.186  | 20.593 | 0.2283 | 2.8690 |
| 2.253 | 14.0  | 26.0  | 1 | 2 | 1 |     | 39.984  | 19.992 | 0.2219 | 2.7888 |
| 4.980 | 12.0  | 10.0  | 0 | 2 | 0 |     | 17.796  | 8.898  | 0.1004 | 1.2617 |
| 2.583 | 12.0  | 19.0  | 0 | 2 | 1 |     | 34.700  | 17.350 | 0.1936 | 2.4325 |
| 2.489 | 10.0  | 17.0  | 0 | 4 | 0 |     | 36.055  | 18.028 | 0.2009 | 2.5244 |
| 3.383 | 10.0  | 12.0  | 1 | 2 | 0 |     | 26.322  | 13.161 | 0.1478 | 1.8573 |
| 1.563 | 10.0  | 27.0  | 1 | 5 | 1 |     | 59.023  | 29.512 | 0.3198 | 4.0182 |
| 1.561 | 8.0   | 21.0  | 1 | 6 | 0 |     | 59.119  | 29.559 | 0.3202 | 4.0241 |
| 1.509 | 8.0   | 22.0  | 0 | 0 | 2 |     | 61.384  | 30.692 | 0.3313 | 4.1635 |
| 1.802 | 6.0   | 14.0  | 2 | 1 | 1 |     | 50.613  | 25.306 | 0.2775 | 3.4868 |
| 1.690 | 6.0   | 15.0  | 2 | 4 | 0 |     | 54.210  | 27.105 | 0.2958 | 3.7165 |
| 1.920 | 5.0   | 11.0  | 0 | 4 | 1 |     | 47.305  | 23.652 | 0.2604 | 3.2725 |
| 1.454 | 5.0   | 14.0  | 0 | 6 | 1 |     | 63.974  | 31.987 | 0.3439 | 4.3210 |
| 2.527 | 4.0   | 7.0   | 1 | 0 | 1 |     | 35.495  | 17.747 | 0.1979 | 2.4864 |
| 1.603 | 4.0   | 10.0  | 2 | 3 | 1 |     | 57.412  | 28.706 | 0.3118 | 3.9179 |
| 1.659 | 3.0   | 8.0   | 0 | 6 | 0 |     | 55.319  | 27.660 | 0.3013 | 3.7866 |
| 1.317 | 3.0   | 10.0  | 1 | 3 | 2 |     | 71.569  | 35.785 | 0.3796 | 4.7697 |
| 1.359 | 3.0   | 9.0   | 1 | 7 | 0 |     | 69.055  | 34.527 | 0.3679 | 4.6234 |
| 1.393 | 3.0   | 9.0   | 3 | 3 | 0 |     | 67.109  | 33.554 | 0.3588 | 4.5086 |
| 2.011 | 2.0   | 4.0   | 1 | 3 | 1 |     | 45.043  | 22.522 | 0.2486 | 3.1244 |
| 1.420 | 2.0   | 6.0   | 1 | 1 | 2 |     | 65.665  | 32.832 | 0.3519 | 4.4226 |
| 1.369 | 2.0   | 6.0   | 3 | 0 | 1 |     | 68.457  | 34.228 | 0.3651 | 4.5883 |
| 1.467 | 2.0   | 6.0   | 3 | 2 | 0 |     | 63.322  | 31.661 | 0.3407 | 4.2816 |
| 2.089 | 1.0   | 2.0   | 2 | 2 | 0 |     | 43.275  | 21.637 | 0.2393 | 3.0077 |
| 2.303 | 1.0   | 2.0   | 2 | 0 | 0 |     | 39.080  | 19.540 | 0.2171 | 2.7283 |
| 1.345 | 1.0   | 3.0   | 2 | 6 | 0 |     | 69.824  | 34.912 | 0.3715 | 4.6684 |



|       |     |     |   |   |   |        |        |        |        |
|-------|-----|-----|---|---|---|--------|--------|--------|--------|
| 1.772 | 1.0 | 2.0 | 1 | 4 | 1 | 51.507 | 25.753 | 0.2820 | 3.5442 |
| 1.292 | 1.0 | 3.0 | 0 | 4 | 2 | 73.189 | 36.594 | 0.3870 | 4.8628 |
| 1.265 | 1.0 | 3.0 | 3 | 3 | 1 | 74.995 | 37.497 | 0.3951 | 4.9654 |
| 1.243 | 1.0 | 3.0 | 1 | 4 | 2 | 76.537 | 38.268 | 0.4020 | 5.0520 |
| 1.199 | 1.0 | 3.0 | 3 | 4 | 1 | 79.915 | 39.958 | 0.4169 | 5.2386 |
| 1.150 | 1.0 | 4.0 | 0 | 8 | 1 | 84.051 | 42.025 | 0.4346 | 5.4608 |
| 1.144 | 1.0 | 4.0 | 4 | 1 | 0 | 84.602 | 42.301 | 0.4369 | 5.4899 |
| 1.126 | 1.0 | 4.0 | 2 | 4 | 2 | 86.299 | 43.149 | 0.4439 | 5.5786 |

### c. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

PDF#52-1449: QM=Star/Calculated; d=Other/Unknown;  
I=(Unknown)

Iron Oxide

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Radiation=CuKα1 Lambda=1.5406 Filter=

Calibration= d-Cutoff= I/Ic(RIR)=

Ref= Level-1 PDF

Orthorhombic, Pna21(33) Z=8 mp=

Cell=5.095x8.789x9.437<90x90x90> Pearson=

Density(c)=5.02Density(m)= Mwt= Vol=

Ref= Ibid.

Strong Line: 2.72/X 1.52/9 2.45/8 1.47/7 2.54/5 1.73/5 3.22/5  
2.24/4

| d(A)  | I(f)  | I(v)  | h | k | l | n^2 | 2-Theta | Theta  | 1/(2d) | 2pi/d  |
|-------|-------|-------|---|---|---|-----|---------|--------|--------|--------|
| 2.718 | 100.0 | 65.0  | 1 | 2 | 2 |     | 32.926  | 16.463 | 0.1840 | 2.3117 |
| 1.518 | 86.0  | 100.0 | 2 | 0 | 5 |     | 60.986  | 30.493 | 0.3294 | 4.1391 |
| 2.451 | 84.0  | 60.0  | 1 | 3 | 1 |     | 36.634  | 18.317 | 0.2040 | 2.5635 |
| 1.469 | 66.0  | 79.0  | 2 | 4 | 3 |     | 63.250  | 31.625 | 0.3404 | 4.2772 |
| 2.541 | 50.0  | 35.0  | 2 | 0 | 0 |     | 35.293  | 17.646 | 0.1968 | 2.4727 |
| 1.732 | 48.0  | 49.0  | 1 | 1 | 5 |     | 52.813  | 26.406 | 0.2887 | 3.6277 |
| 3.216 | 48.0  | 26.0  | 1 | 1 | 2 |     | 27.716  | 13.858 | 0.1555 | 1.9537 |

|       |      |      |   |   |   |        |        |        |        |
|-------|------|------|---|---|---|--------|--------|--------|--------|
| 2.237 | 44.0 | 35.0 | 2 | 0 | 2 | 40.283 | 20.141 | 0.2235 | 2.8088 |
| 2.962 | 34.0 | 20.0 | 0 | 1 | 3 | 30.147 | 15.073 | 0.1688 | 2.1213 |
| 1.535 | 30.0 | 34.0 | 0 | 5 | 3 | 60.240 | 30.120 | 0.3257 | 4.0933 |
| 1.341 | 24.0 | 32.0 | 2 | 0 | 6 | 70.116 | 35.058 | 0.3729 | 4.6854 |
| 1.977 | 20.0 | 18.0 | 2 | 0 | 3 | 45.862 | 22.931 | 0.2529 | 3.1781 |
| 1.573 | 16.0 | 18.0 | 0 | 0 | 6 | 58.640 | 29.320 | 0.3179 | 3.9944 |
| 1.992 | 16.0 | 14.0 | 2 | 2 | 2 | 45.497 | 22.748 | 0.2510 | 3.1542 |
| 2.285 | 12.0 | 9.0  | 1 | 2 | 3 | 39.401 | 19.700 | 0.2188 | 2.7498 |
| 1.415 | 12.0 | 15.0 | 3 | 2 | 3 | 65.963 | 32.981 | 0.3534 | 4.4404 |
| 2.172 | 11.0 | 9.0  | 2 | 1 | 2 | 41.543 | 20.771 | 0.2302 | 2.8928 |
| 2.561 | 10.0 | 7.0  | 1 | 1 | 3 | 35.008 | 17.504 | 0.1952 | 2.4534 |
| 1.312 | 10.0 | 13.0 | 2 | 5 | 3 | 71.903 | 35.952 | 0.3811 | 4.7890 |
| 3.326 | 9.0  | 5.0  | 1 | 2 | 0 | 26.782 | 13.391 | 0.1503 | 1.8891 |
| 1.932 | 9.0  | 8.0  | 2 | 1 | 3 | 46.993 | 23.497 | 0.2588 | 3.2522 |
| 2.018 | 7.0  | 6.0  | 1 | 4 | 0 | 44.879 | 22.439 | 0.2478 | 3.1136 |
| 1.383 | 7.0  | 9.0  | 2 | 5 | 2 | 67.692 | 33.846 | 0.3615 | 4.5432 |

PDF#47-1409: QM=Doubtful(?); d=Other/Unknown;  
I=(Unknown)

Iron Oxide

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Radiation=CuKα1 Lambda=1.5406 Filter=

Calibration= d-Cutoff= I/Ic(RIR)=

Ref= Level-1 PDF

Orthorhombic, Pbnm(62) Z=4 mp=

Cell=4.59x4.97x6.68<90x90x90> Pearson=

Density(c)=6.961 Density(m)= Mwt= Vol=

Ref= Ibid.

Strong Line: 1.92/X 1.67/X 1.34/X 2.36/X 2.48/5 1.40/5 1.54/5  
2.28/5

| d(A)  | I(f)  | I(v) | h | k | l | n <sup>2</sup> | 2-Theta | Theta  | 1/(2d) | 2pi/d  |
|-------|-------|------|---|---|---|----------------|---------|--------|--------|--------|
| 1.920 | 100.0 | 70.0 |   |   |   |                | 47.305  | 23.652 | 0.2604 | 3.2725 |

|       |       |       |   |   |   |        |        |        |        |
|-------|-------|-------|---|---|---|--------|--------|--------|--------|
| 1.670 | 100.0 | 80.0  | 0 | 0 | 4 | 54.935 | 27.468 | 0.2994 | 3.7624 |
| 1.340 | 100.0 | 100.0 | 3 | 1 | 2 | 70.176 | 35.088 | 0.3731 | 4.6889 |
| 2.360 | 100.0 | 57.0  | 1 | 1 | 2 | 38.100 | 19.050 | 0.2119 | 2.6624 |
| 2.480 | 50.0  | 27.0  | 0 | 2 | 0 | 36.190 | 18.095 | 0.2016 | 2.5335 |
| 1.400 | 50.0  | 48.0  |   |   |   | 66.761 | 33.381 | 0.3571 | 4.4880 |
| 1.540 | 50.0  | 44.0  |   |   |   | 60.024 | 30.012 | 0.3247 | 4.0800 |
| 2.280 | 50.0  | 29.0  | 2 | 0 | 0 | 39.491 | 19.745 | 0.2193 | 2.7558 |
| 3.000 | 5.0   | 2.0   | 1 | 1 | 1 | 29.756 | 14.878 | 0.1667 | 2.0944 |
| 3.320 | 5.0   | 2.0   | 0 | 0 | 2 | 26.831 | 13.416 | 0.1506 | 1.8925 |
| 1.860 | 5.0   | 4.0   | 1 | 1 | 3 | 48.929 | 24.464 | 0.2688 | 3.3781 |

### d.Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

PDF#26-1136: QM=Doubtful(?); d=Other/Unknown;

I=(Unknown)

Iron Oxide

Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

Radiation=CuKα1 Lambda=1.5406 Filter=

Calibration= d-Cutoff= I/Ic(RIR)=

Ref= Level-1 PDF

Cubic, Fd-3m(227) Z=8 mp=

Cell=8.09x8.09x8.09<90x90x90> Pearson=

Density(c)=5.15Density(m)= Mwt= Vol=

Ref= Ibid.

Strong Line: 2.44/X 1.43/5 1.56/4 2.86/3 2.02/3 1.65/2 4.67/1  
2.34/1

| d(A)  | I(f)  | I(v)  | h | k | l | n^2 | 2-Theta | Theta  | 1/(2d) | 2pi/d  |
|-------|-------|-------|---|---|---|-----|---------|--------|--------|--------|
| 2.439 | 100.0 | 100.0 | 3 | 1 | 1 | 11  | 36.820  | 18.410 | 0.2050 | 2.5761 |
| 1.430 | 50.0  | 85.0  | 4 | 4 | 0 | 32  | 65.185  | 32.592 | 0.3497 | 4.3938 |
| 1.557 | 40.0  | 63.0  | 5 | 1 | 1 | 27  | 59.303  | 29.651 | 0.3211 | 4.0354 |
| 2.860 | 30.0  | 26.0  | 2 | 2 | 0 | 8   | 31.249  | 15.624 | 0.1748 | 2.1969 |
| 2.023 | 30.0  | 36.0  | 4 | 0 | 0 | 16  | 44.762  | 22.381 | 0.2472 | 3.1059 |

|       |      |      |   |   |   |    |        |        |        |        |
|-------|------|------|---|---|---|----|--------|--------|--------|--------|
| 1.651 | 20.0 | 30.0 | 4 | 2 | 2 | 24 | 55.622 | 27.811 | 0.3028 | 3.8057 |
| 4.670 | 10.0 | 5.0  | 1 | 1 | 1 | 3  | 18.988 | 9.494  | 0.1071 | 1.3454 |
| 2.335 | 10.0 | 10.0 | 2 | 2 | 2 | 12 | 38.524 | 19.262 | 0.2141 | 2.6909 |
| 1.234 | 10.0 | 20.0 | 5 | 3 | 3 | 43 | 77.249 | 38.625 | 0.4052 | 5.0917 |

## **BIODATA PENULIS**



Penulis bernama lengkap Mahendra Kresna Putra, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Agus Nurwanto dan Trim Kristiana yang dilahirkan di Denpasar, Bali pada tanggal 8 Mei 1995. Penulis menyelesaikan pendidikan formalnya di SD Mutiara 17 Agustus Kota Bekasi, SMP Negeri 1 Kota Bekasi, SMA Negeri 1 Tambun Selatan. Setelah lulus dari SMA tahun 2013, penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Departemen Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri

(FTI) - ITS dan terdaftar dengan NRP 2713100005.

Selama menjalankan pendidikan di kampus ITS Surabaya, penulis berpartisipasi aktif dalam organisasi kemahasiswaan Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS (HMMT FTI-ITS) sebagai staff Biro Multimedia Departemen Media dan Informasi HMMT FTI-ITS (2014/2015), kepala Biro Media Kreatif Departemen Media dan Informasi HMMT FTI-ITS (2015/2016).